



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Centro de Ciências Agrárias
Departamento de Solos e Engenharia Rural
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO



CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E MINERALÓGICA DOS SOLOS DE ENCOSTAS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO

Cristiano dos Santos Sousa

**AREIA – PB
MARÇO – 2015**

CRISTIANO DOS SANTOS SOUSA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E MINERALÓGICA DOS SOLOS DE
ENCOSTAS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos em Agroecossistemas Familiares.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Kelly Cristiane Gomes da Silva

Areia – PB
Março – 2015

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

S725c Sousa, Cristiano dos Santos.

1. Caracterização física, química e mineralógica dos solos de encostas sob diferentes sistemas de uso. / Cristiano dos Santos Sousa. - Areia: UFPB/CCA, 2015. xiii, 67 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2015.

Bibliografia.

Orientador (a): Kelly Cristiane Gomes da Silva.

1. Solos 2. Manejo do solo 3. Mineralogia do solo 4. Caracterização do solo I. Silva, Kelly Cristiane Gomes (Orientadora) II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 631.4(043.3)

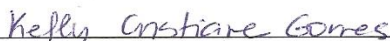
CRISTIANO DOS SANTOS SOUSA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E MINERALÓGICA DOS SOLOS DE
ENCOSTAS SOB DIFERENTES SISTEMAS DE USO**

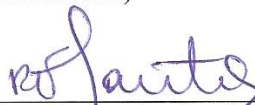
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo. Área de concentração: Solos em Agroecossistemas Familiares.

Aprovada em **31 de Março de 2015**.

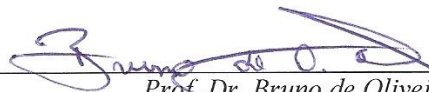
BANCA EXAMINADORA



Prof.ª. Dra. Kelly Cristiane Gomes da Silva
DEER/CEAR/UFPB
(Orientadora)



Prof. Dr. Roseilton Fernandes dos Santos
DSER/CCA/UFPB
(Examinador Interno)



Prof. Dr. Bruno de Oliveira Dias
DSER/CCA/UFPB
(Examinador Interno)



Prof. Dr. Marçal/Rosas Florentino Lima Filho
DECA/UFCG
(Examinador Externo)

***Entrega teu caminho ao Senhor, confia nEle
e Ele o fará. (Salmos 37:5)***

Dedico esse trabalho à minha família, em especial ao meu pai, Severino e a minha noiva Kamirys, e a Profª Drª. Kelly Gomes pela confiança, incentivo e paciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, nosso Senhor e Criador, pela saúde, pela força, pelos ensinamentos, pela paciência e, principalmente, pelo amor incondicional que me foram alicerce em todos os momentos e proporcionaram a realização desse trabalho.

À Universidade Federal da Paraíba, que tem acompanhado meu crescimento profissional desde a graduação e, através do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo – PPGCS, a oportunidade de ir adiante em meu conhecimento acadêmico.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, representada pelo prof. Dr. Flávio Pereira pelo empenho e dedicação na formação de Pós-Graduandos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de recursos que possibilitaram a realização desse trabalho de dissertação, tão como a conclusão do curso de Pós-Graduação.

Aos funcionários e docentes que compõem o Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo e ao Departamento de Solos e Engenharia Rural – DSER: Vaval, Cláudia, Cícero, Genildo, D. Marielza, prof. Chico Ninha, prof. Dr. Roseilton, profa. Dra. Vânia e demais, por todas às contribuições.

À minha orientadora profa. Dra. Kelly Gomes, que me acolheu desde a graduação, me apoiou, incentivou e acompanha meu desenvolvimento profissional. Pela honra de ser mais uma vez seu orientado, pela paciência e pelos conhecimentos que sempre me propôs.

Ao Instituto Nacional do Semiárido – INSA, e seu corpo de funcionários e bolsistas: prof. Dr. Salcedo, Msc. Leonardo Tinoco, Dra. Vanessa, Raimundo (Mundoca), Júlia, Arianne, Rafael e demais, que foram de grande importância para meu crescimento profissional e pessoal.

Aos meus queridos amigos Kalline (Kall), Elder (Brother), Belchior (Bel), Jéssica (Jé), Bruno (Brow), Joseane (Jôsy), Msc. Marcílio e demais que estiveram comigo em

todos os momentos da Pós-Graduação e, mesmo quando distantes, sempre me apoiaram e ajudaram.

Aos meus cunhados Klebson (Leb), Kleber (Kinha), Kleder (Sr. Dérs), Klayvert (compadre Vinho), Klemerson (Werers) e Kelvy (compadre Negão) e à minha sogra Hilda Gomes (D. Mada) pela ajuda, pelos momentos de descontração e pela amizade que sempre compartilharam comigo.

À minha noiva Kamirys, pelo apoio, pela paciência, pela companhia, pela ajuda, pelo amor e pela atenção e preocupação que sempre teve comigo.

Ao meu querido pai, Severino, que sempre esteve comigo em todos os momentos de minha vida, me apoiou e sempre acreditou que eu chegaria mais longe em minha vida acadêmica.

Enfim, a todos que contribuíram nessa vitória, de forma direta ou indireta, e que acreditaram na minha capacidade de atravessar mais essa etapa da vida.

Meus sinceros e eternos agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT.....	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. <i>Geral:</i>	3
1.1.2. <i>Específicos:</i>	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. O Manejo e as Alterações no Solo	4
2.2. Influência do Relevo	5
2.3. Mineralogia do Solo.....	6
2.4. Técnicas de Caracterização do Solo	7
2.4.1. <i>Técnicas de Caracterização Física</i>	7
2.4.2. <i>Técnicas de Caracterização Química</i>	8
2.4.3. <i>Técnicas Espectroscópicas de Caracterização</i>	9
a) <i>Fluorescência de Raios-X</i>	10
b) <i>Difração de Raios-X (DRX)</i>	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. Localização e Seleção da Área de Estudo	14
3.2. Amostragem do solo	16
3.3. Preparo das amostras e Realização das análises químicas e físicas	18
3.4. Preparo das amostras e Realização das Análises de FRX e DRX.	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Área de Agricultura	22
4.1.1. <i>Caracterização do Relevo</i>	22
4.1.2. <i>Caracterização Mineralógica dos Solos</i>	22
4.1.3. <i>Caracterização Física e Química dos Solos</i>	28
4.2. Área de Mata.....	34
4.2.1. <i>Caracterização do Relevo</i>	34
4.2.2. <i>Caracterização Mineralógica dos Solos</i>	34

4.2.3. <i>Caracterização Física e Química dos Solos</i>	36
4.3. Área de Pastagem.....	42
4.3.1. <i>Caracterização do Relevo</i>	42
4.3.2. <i>Caracterização Mineralógica dos Solos</i>	42
4.3.3. <i>Caracterização Física e Química dos Solos</i>	47
5. CONCLUSÕES	52
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	53
7. REFERÊNCIAS	54
APÊNDICE	64
Apêndice A: Nomenclatura adotada para as amostras da área de Agricultura.	65
Apêndice B: Nomenclatura adotada para as amostras da área de Mata.	66
Apêndice C: Nomenclatura adotada para as amostras da área de Pastagem.	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Histograma de Precipitação média anual nos município de Areia, Remígio e Caturité, Estado da Paraíba (AESAs, 2007).	14
Figura 2:	Localização da Cidade de Areia dentro do País e do Estado (Fonte: Google Earth, jan/2015).	15
Figura 3:	Imagem de satélite demonstrando a localização das áreas onde foram feitas as coletas de solo: vermelho-agricultura; verde-mata; e amarelo-pastagem. Fonte: adaptado do Google Earth© (2015).	15
Figura 4:	(a) Esquema de malha. (b) Esquema da disposição dos pontos de coleta nas posições do relevo.	16
Figura 5:	Distribuição dos pontos de coleta nas áreas selecionadas. (a) área de agricultura; (b) área de mata; e (c) área de pastagem. Fonte: adaptado do Google Earth© (2015).	17
Figura 6:	Processo de coleta das amostras de solo. Fonte: Lira (2013).	17
Figura 7:	Nomenclatura adotada na pesquisa.	18
Figura 8:	Preparo das Amostras para FRX e DRX: (a) Solo no molde, (b) Prensa, (c) Pastilha após ser prensada, (d) Pastilha identificadas para serem levadas a estufa, (e) Porta amostra para análise, (f) Pastilha no porta amostra, (g) porta amostras na bandeja de análise, (h) equipamento utilizado para análise, (i) acondicionamento das amostras após análise. Fonte: Lira (2013).	20
Figura 9:	Equipamento X-Ray Diffractometer da marca Bruker, modelo D2-Phaser.	21
Figura 10:	Passo a passo da preparação da amostra.	21
Figura 11:	Difratogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Superior (0-10 cm).	24
Figura 12:	Difratogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Superior (10-20 cm).	24
Figura 13:	Difratogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Superior (20-40 cm).	25
Figura 14:	Difratogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Médio (0-10 cm).	25

Figura 15:	Difratogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Médio (10-20 cm).	26
Figura 16:	Difratogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Médio (20-40 cm).	26
Figura 17:	Difratogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Inferior (0-10 cm).	27
Figura 18:	Difratogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Inferior (10-20 cm).	27
Figura 19:	Difratogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Inferior (20-40 cm).	28
Figura 20:	Difratogramas das amostras da Área de Mata (0-10 cm), onde M19 e M20 refere-se as posições de Terço Superior, M21 e M22 Terço Médio e M23 e M24 Terço Inferior, respectivamente.	35
Figura 21:	Difratogramas das amostras da Área de Mata (10-20 cm), onde M19 e M20 refere-se as posições de Terço Superior, M21 e M22 Terço Médio e M23 e M24 Terço Inferior, respectivamente.	35
Figura 22:	Difratogramas das amostras da Área de Mata (20-40 cm), onde M19 e M20 refere-se as posições de Terço Superior, M21 e M22 Terço Médio e M23 e M24 Terço Inferior, respectivamente.	36
Figura 23:	Difratogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Superior (0-10 cm).	43
Figura 24:	Difratogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Superior (10-20 cm).	43
Figura 25:	Difratogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Superior (20-40 cm).	44
Figura 26:	Difratogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Médio (0-10 cm).	44
Figura 27:	Difratogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Médio (10-20 cm).	45
Figura 28:	Difratogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Médio (20-40 cm).	45
Figura 29:	Difratogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Inferior (0-10 cm).	46

- Figura 30:** Difractogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Inferior (10-20 cm). 46
- Figura 31:** Difractogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Inferior (20-40 cm). 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Tipos de minerais encontrados nas frações texturais em diferentes tipos de solos (MONTEIRO, 2010)*.	13
Tabela 2:	Classificação do relevo da Área de Agricultura.	22
Tabela 3:	Fases mineralógicas encontradas nos solos de Agricultura.	23
Tabela 4.1:	Atributos físicos e químicos da área de Agricultura.	32
Tabela 4.2:	Atributos químicos totais dos solos da área de Agricultura.	33
Tabela 5:	Classificação do relevo da Área de Mata.	34
Tabela 6:	Fases mineralógicas encontradas nos solos de Mata.	34
Tabela 7.1:	Atributos físicos e químicos da área de Mata.	40
Tabela 7.2:	Atributos químicos totais dos solos da área de Mata.	41
Tabela 8:	Classificação do relevo da Área de Pastagem.	42
Tabela 9:	Fases mineralógicas encontradas nos solos de Pastagem.	42
Tabela 10.1:	Atributos físicos e químicos da área de Pastagem.	50
Tabela 10.2:	Atributos químicos totais dos solos da área de Pastagem.	51
Tabela 11:	Nomenclatura adotada, coordenadas, posição no relevo e profundidade onde foram realizadas as coletas da área de Agricultura.	65
Tabela 12:	Nomenclatura adotada, coordenadas, posição no relevo e profundidade onde foram realizadas as coletas da área de Mata.	66
Tabela 13:	Nomenclatura adotada, coordenadas, posição no relevo e profundidade onde foram realizadas as coletas da área de Pastagem.	67

SOUSA, C. S. **Caracterização Física, Química e Mineralógica dos Solos de Encostas sob Diferentes Sistemas de Uso.** Areia-PB, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, março de 2015. 83f. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Kelly Cristiane Gomes da Silva.

RESUMO

O solo é um dos recursos naturais mais explorados no mundo, principalmente devido a atual necessidade de produção de alimentos. Entretanto, o uso de práticas agrícolas de maneira equivocada acarreta na degradação de suas propriedades, principalmente em áreas de relevo acidentado. Desse modo a pesquisa teve como objetivo principal avaliar as propriedades químicas, físicas e mineralógicas do solo em diferentes posições na encosta, em solos sob o uso de Agricultura, Pastagem e Mata-nativa, no município de Areia-PB, na Microrregião do Brejo Paraibano. Foram coletadas amostras em 18 (dezoito) pontos nas áreas de agricultura e pastagem, e 6 (seis) pontos na área de mata-nativa, em três posições do relevo (Terço Superior, Terço Médio e Terço Inferior) e em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-40 cm), entre Janeiro e Junho de 2014. As amostras foram submetidas a análises de textura do solo, atributos físicos e químicos, e análises de Fluorescência e Difração de Raios-X para as caracterizações de óxidos totais e mineralogia. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural – DSER/UFPB/Campus II, no Laboratório Lab-Sede de Química Analítica do Instituto Nacional do Semi-Árido – INSA e nos Laboratórios de Tecnologia de Novos Materiais (LTNM) do Instituto UFPB de Desenvolvimento do Estado da Paraíba e de Solidificação Rápida do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (Campus I). Na composição mineralógica das amostras da área de agricultura foi evidenciada a predominância de minerais primários como o Quartzo, corroborando com a classificação textural do solo da área. Na área de Mata, a composição mineralógica mostrou-se homogênea, com o predomínio de Quartzo e ocorrência de Caulinita e Goetita em todos os pontos coletados, enquanto a área de pastagem é composta basicamente por quartzo, caulinita e feldspato. Nas análises físicas foram observadas texturas arenosa, argilosa e arenosa, nas áreas do uso de Agricultura, Mata e Pastagem, respectivamente. De acordo com os resultados dos atributos químicos, a área de Agricultura apresentou os um aporte maior de nutrientes, com destaque para os teores de P no solo na posição de Terço Inferior ($101,50 \text{ mg dm}^{-3}$), evidenciando o efeito do transporte de material na encosta e não diferindo quanto as profundidades ($91,53a$, $87,38a$ e $76,23a \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente). A área de Mata apresentou maior parte dos nutrientes concentrados na profundidade de 0-10 cm e maior acidez dentre as áreas avaliadas, porém quase nenhum efeito relativo às posições na encosta. A área de Pastagem teve maiores teores de Ca^{2+} ($1,03a \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$) e K^+ ($0,23a \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$) na posição do terço inferior e maior concentração de P na posição de Terço Superior ($43,10a \text{ mg dm}^{-3}$). Na análise de teores de óxidos totais observou-se que os teores de P_2O_5 da área de Agricultura foram maiores nas profundidades mais superficiais, bem como na posição de Terço Inferior (0,45; 0,42 e 0,36%, nas respectivas profundidades). Na área de Mata observou-se maiores teores de Al_2O_3 quando comparados com as demais áreas, enquanto a área de pastagem apresentou teores de óxidos próximos aos resultados da área de Agricultura.

Palavras-Chave: sistema de uso; encosta; caracterização do solo.

SOUSA, C. S. **Physical, Chemical and Mineralogical Characterization of Slopes of Soils under Different Use Systems.** Areia-PB, Centre of Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba, March, 2015. 83f. Dissertation. Post Graduation Program in Soil Science. Advisor: Kelly Cristiane Gomes da Silva.

ABSTRACT

Soil is the natural resources the most exploited in the world, mainly due to the current need for food production. However, the use of agricultural practices mistakenly brings the degradation of their properties, especially in rugged areas. Thus the research aimed to evaluate the chemical, physical and mineralogical soil at different positions in the landscape, in soils under the use of Agriculture, Pasture and Forest-native, in Areia-PB, micro-region of Brejo Paraibano. Samples were collected in eighteen (18) points in the areas of agriculture and grazing, and six (6) points in kills native area in three relief positions (Top, middle and bottom) and at three depths (0 -10, 10-20 and 20-40 cm) between January and June 2014. The samples were subjected to soil texture analysis, physical and chemical attributes, and analysis of fluorescence X-ray and diffraction X-ray for the characterization of total oxides and mineralogy. The tests were performed at the Physics Laboratory of Department of Soil Soil and Rural Engineering - DSER / UFPB / Campus II, in the Laboratory of Analytical Chemistry of the National Institute for the Semi-Arid – INSA, in the New Materials Technology Laboratory (LTNM) of Development Institute of the State of Paraíba – UFPB and Rapid Solidification Laboratory of Technology Center of the Federal University of Paraíba (Campus I). In the mineralogical composition of the agricultural area of the samples was evidenced the predominance of primary minerals such as quartz, supporting the textural classification of the soil of the area. In the forest area, the mineralogical composition was homogeneous, with the predominance of quartz and kaolinite and goethite occur in all collected points, while the pasture area is composed mainly of quartz, kaolinite and feldspar. In the physical analysis were observed Sandy and clayey-sandy textures in the areas of use of Agriculture, Forest and Pasture, respectively. According to the results of chemical properties, the area of Agriculture presented a greater supply of nutrients, especially the P content in the soil in the Top Third position ($101.50 \text{ mg dm}^{-3}$), showing the effect of transport material on the side and not as differing depths ($91,53a$, $87,38a$ and $76,23a \text{ mg dm}^{-3}$, respectively). The forest area showed most of the nutrients concentrated in the depth of 0-10 cm and higher acidity among the evaluated areas, but almost no effect on the positions on the slope. The grassland area had higher Ca^{2+} levels ($1,03a \text{ cmolc dm}^{-3}$) and K^+ ($0,23a \text{ cmolc dm}^{-3}$) in the Bottom third position and a greater concentration of P in the Top Third position ($43,10a \text{ mg dm}^{-3}$). In the analysis of total oxide content it was observed that P_2O_5 content of the agricultural area was higher at shallow depths, as well as in the bottom third position (0.45, 0.42 and 0.36%, in their depths). In the forest area there was higher Al_2O_3 contents when compared with other areas, while the pasture area presented oxide contents near the Agricultural Area results.

Keywords: Use system; Slope; Characterization of the soil.

1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural constituído de material orgânico e mineral sendo, segundo Lepsch (2002), a base para a produção de alimentos e de matérias-primas para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais, além de fornecer variadas fontes alternativas de energia. Para tal, apresenta diferentes potenciais de uso em função da sua natureza ou constituição, estrutura, posição, usos e manejos, seu histórico nas diversas paisagens e territórios, em diferentes escalas, sobretudo as regionais e locais, onde são mais perceptíveis. Além disso, existem diversas inter-relações entre as propriedades do solo (físicas, químicas e biológicas) que determinam os processos relacionados à sua variação no espaço e no tempo.

Conforme Brookes (1995), modificações no solo influenciam diretamente na sua estrutura, atividade biológica e, conseqüentemente, em sua fertilidade, refletindo diretamente nos agroecossistemas. Tais atividades, segundo Pereira (2010), promovem o aumento da ciclagem de substâncias de ocorrência natural e a introdução de grandes quantidades de conteúdos sintéticos no ambiente.

A expansão da fronteira agrícola, por desmatamentos, adoção de mecanização intensiva e uso de práticas de manejo inadequadas, promove alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, as quais levam ao processo de degradação, provocando redução da produtividade, principalmente devido à erosão superficial e conseqüente perda de nutrientes e matéria orgânica, o que torna a atividade agropastoril mais difícil e mais onerosa (SALTON e HERNANI, 1998). Dessa maneira, a forte influência do sistema de manejo do solo sobre a variação dessas propriedades torna a avaliação das mesmas de fundamental importância para o desenvolvimento de técnicas de cultivo sustentáveis.

O território brasileiro se caracteriza por uma grande diversidade de tipos de solos, correspondendo, diretamente, à intensidade de interação das diferentes formas e tipos de relevo, clima, material de origem, vegetação e organismos associados, os quais, por sua vez, condicionam diferentes processos formadores dos solos. A esta diversidade, deve-se a natureza de nosso país, suas potencialidades e limitações de uso e, em grande parte, às diferenças regionais no que se refere às diversas formas de ocupação, uso e desenvolvimento do território (MANZATTO et al., 2002).

No agreste paraibano, principalmente na microrregião do Brejo, onde a ocupação é desordenada e a topografia varia de relevo ondulado a fortemente ondulado, pode-se observar que as condições propícias elevam os níveis de degradação resultando no aumento dos processos erosivos (LIRA, 2013).

Com a retirada da vegetação nativa, o solo fica exposto aos agentes erosivos o que, dependendo do tipo de relevo, pode agravar o processo de degradação do solo. Conforme Faria et al. (2010), a erosão pode ser mais evidente em áreas de encosta e aumenta de intensidade com o aumento da declividade. Desse modo, caracterizar o relevo quanto a sua variabilidade e propriedades é fundamental para que se possam desenvolver práticas de manejo adequadas, reduzindo os efeitos causados pela exploração agrícola.

Fanning e Fanning (1989) ressaltam que é necessário conhecer tais características devido suas variações influenciarem na redistribuição de água, presença de espécies vegetais, distribuição de umidade na paisagem, temperatura dos solos, intensidade dos processos de remoção de sólidos e solutos, remoção e deposição de sedimentos e nas variações dos níveis dos lençóis freáticos, interferindo na possibilidade de uso das terras.

Várias estratégias de avaliação da qualidade do solo têm sido propostas, destacando-se as que consideram a necessidade de um conjunto numeroso de atributos do solo para a obtenção de um índice confiável de qualidade (LARSON e PIERCE, 1991; DORAN e PARKIN, 1994), rápido, eficiente e preciso, tais como a utilização de técnicas de análises como a Fluorescência de Raios-X, a Difração de Raios-X, a Espectroscopia de Infravermelho, a Microscopia Eletrônica de Varredura, dentre tantas outras.

Portanto, a compreensão da dinâmica do solo com a aplicação dessas técnicas busca estimar e avaliar eficaz e precisamente os processos que ocorrem de forma conjunta no solo, a fim de obter informações que consolidem sua sistemática, contribuindo para um melhor desenvolvimento de sistemas agrícolas e consequentemente proteção e conservação do solo.

Neste sentido, esta pesquisa contribuirá para a avaliação da influência do relevo nas propriedades físicas, químicas e mineralógicas do solo de áreas cultivadas no município de Areia/PB através da utilização de técnicas espectroscópicas e analíticas.

1.1. Objetivos

1.1.1. Geral:

Avaliar a influência do relevo nas propriedades química, física e mineralógica de solos presentes no Município de Areia-PB submetidos aos sistemas de uso: Mata Nativa, Pastagem e Agrossistema.

1.1.2. Específicos:

1. Realizar a caracterização física (textura e densidade) das áreas avaliadas, em diferentes posições de relevo e profundidades.
2. Realizar a caracterização química, dos diferentes agrossistemas, através da Fluorescência de Raios-X (FRX) e análises químicas de rotina em laboratório;
3. Realizar a caracterização mineralógica dos solos, das áreas em estudo, através de Difração de Raios-X (DRX);
4. Determinar a influência que o relevo possui acerca dessas propriedades.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O Manejo e as Alterações no Solo

O processo de alteração nas propriedades do solo é algo que ocorre naturalmente com o decorrer de vários anos, até a sua estabilidade. Entretanto as atividades antrópicas, efetuadas de maneira desordenada, ocasionam na exposição do solo aos processos erosivos e, desse modo, na sua degradação. Conforme Brasileiro (2008), a agricultura por si é uma atividade que gera bastante impacto ao meio ambiente, seja em grande ou pequena escala, dependendo das técnicas e práticas de cultivo.

Dos vários fatores relacionados à agricultura que podem levar a alteração do solo, Muller (2001) destaca a retirada da cobertura vegetal original e a implantação de cultura, aliadas às práticas de manejo inadequadas, promovendo o rompimento do equilíbrio entre o solo e o meio e modificando suas propriedades químicas, físicas e biológicas. Estes fatores podem ocasionar um estado de degradação que, caso seja reversível, requer muito mais tempo e recurso para sua recuperação (MENDES, 2002).

O efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo é dependente da sua estrutura e mineralogia, as quais influenciam a resistência do solo a determinada prática agrícola (SEYBOLD et al. 1999). Segundo Ferreira (1979) todos os solos, menos os de classe I, para serem cultivados precisam ser cuidados evitando a erosão e mantendo a sua fertilidade. As maneiras de se conseguir esses resultados são variadas e podem ser empregadas uma ou várias práticas para tal finalidade, sempre obedecendo à exigência de cada tipo de solo. De acordo com Cavalcante et al. (2007), o manejo do solo e da cultura são importantes condicionadores da variabilidade de atributos do solo. Solos de mesma classe taxonômica, considerados relativamente homogêneos, podem apresentar variação em seus atributos como resultado da aplicação de diferentes práticas de manejo.

A degradação da estrutura causa ao solo perda das condições favoráveis ao desenvolvimento vegetal e o predispõe ao aumento de erosão hídrica (LACERDA et al. 2005). Algumas práticas de manejo, tais como, utilização de restos de cultura como cobertura morta e sistema de plantio direto, que aumenta o teor de matéria orgânica, podem ter um efeito positivo na qualidade do solo (PEIXOTO, 2008). Desse modo, protegem a superfície do solo da intensa radiação solar, evitando a queima da matéria orgânica, reduzindo a amplitude térmica da superfície, a perda de água por evaporação, o impacto

das gotas de chuva sobre a superfície e a velocidade do escoamento superficial do excesso de água das chuvas (FEIDEN, 2001).

Gomes et al. (2004) afirmam que evitar a degradação de terras produtivas e avançar em aspectos específicos de qualidade dos solos são demandas que se relacionam com o aumento do conhecimento sobre a diferenciação de atributos dos solos nos seus respectivos ambientes naturais. Esse quadro ambiental pode, muitas vezes, resultar numa queda da produtividade ou até mesmo inviabilizar um empreendimento agrícola, pois o efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo é dependente da sua textura e mineralogia, as quais influenciam a resistência do solo a determinada prática agrícola (SEYBOLD et al. 1999).

No decorrer dos últimos anos, o crescimento populacional e o desenvolvimento das atividades agrícolas têm contribuído para a degradação e contaminação dos solos, degradações essas ligadas aos atributos qualitativos do solo que podem se acumular, causando danos e degradação dos ecossistemas (LIRA, 2013).

2.2. Influência do Relevo

As particularidades em relação ao regime hídrico, temperatura, radiação solar, relevo e geologia afetam a gênese dos solos, diferenciando características morfológicas, químicas, físicas e mineralógicas, conforme seu ambiente de formação (STURMER, 2008).

Segundo Zimback (2003), em áreas planas, na parte alta do relevo, a penetração de água é maior, com menor formação de enxurrada. Isso ocasiona uma lixiviação interna acentuada, resultando na formação de solos profundos, bastante intemperizados, ácidos e pobres em nutrientes. Em áreas declivosas, a penetração de água é menor, acarretando numa lixiviação menos intensa, e formando solos mais rasos, menos intemperizados, menos ácidos e com mais nutrientes. Já nas áreas de baixada, ocorre o acúmulo de materiais, seja por meio da enxurrada ou pelo lençol freático, formando solos rasos, não muito intemperizados e não muito ácidos e normalmente ricos em nutrientes.

Além disso, o relevo também influencia na susceptibilidade do solo à erosão pelo escoamento superficial. De acordo com o IBGE (2009), os processos erosivos podem ocorrer por ataque direto, desagregando-o e possibilitando o transporte de partículas menores, ou por subsuperfície, afetando a massa de material inconsolidado.

Desse modo, o relevo tem relação direta com a fertilidade dos solos, influenciando na penetração de água e na intensidade de intemperismo. Seu conhecimento é de notável importância, já que os métodos de manejo do solo devem adequar-se, também, às características geomorfológicas da área.

2.3. Mineralogia do Solo

O estudo da mineralogia dos solos é de fundamental importância para a compreensão do potencial de fertilidade do solo e de seu comportamento físico-químico, fornecendo subsídios para auxiliar no manejo adequado e na conservação dos solos. De acordo com Lima et al. (2008), a caracterização, a identificação e o conhecimento das propriedades dos diferentes minerais do solo constitui uma excelente ferramenta para o conhecimento e avaliação da evolução dos mesmos, permitindo avaliar as condições de processos relacionados ao intemperismo, bem como aos processos pedogenéticos vigentes e sua influência nas propriedades físicas, químicas, e na reserva mineral de nutrientes para as plantas.

Segundo Meurer (2007), na porção sólida inorgânica dos solos há uma mistura de minerais, de forma que a presença e quantidade dos mesmos é totalmente dependente dos constituintes do material de origem e das condições sob as quais o solo foi formado. Em grande parte, o solo é constituído pela união de silicatos compartilhados por oxigênio, onde os interstícios dessas estruturas podem estar ocupados por íons, tais como Ca, Mg, K, Na e Fe, dando origem a uma diversidade de configurações estruturais (PRESS et al., 2006; TEIXEIRA et al., 2009), onde a fração mineral que compõem a forma sólida do solo é constituída por minerais primários e secundários.

Os minerais primários constituem o material de formação do solo (quartzo, feldspatos, piroxenas, anfíbolios, etc.), indicando ser a fonte direta de nutrientes às plantas, ou seja, reserva mineral (MOTA et al., 2007). Já os minerais secundários (minerais argilosos, óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, silicatos e aluminossilicatos fracamente cristalinos ou amorfos), são resultados da intemperização dos minerais primários e são os constituintes principais da fração argila dos solos, relacionados com os fenômenos de lixiviação de nutrientes, adsorção de Fósforo, fixação de Potássio, etc. (ZANARDO e MARQUES JÚNIOR, 2009).

De acordo com Costa (1979) a granulometria e resistência à meteorização dos minerais são parâmetros de extrema importância e dependência para a capacidade dos

mesmos de funcionarem como reservas de nutrientes a longo, médio e curto prazo. Em longo prazo pela presença de minerais resistentes como feldspato potássico, muscovita e outros de intemperização difícil em tamanho da fração areia, enquanto que em médio prazo pela presença de minerais ferromagnesianos e plagioclásio com dimensão $> 0,002$ mm e a curto prazo a reserva mineral é constituída por minerais primários facilmente intemperizáveis, como olivina, piroxênios, anfibólios, biotita e mesmo minerais félsicos, como feldspatos K, muscovita, etc., em tamanho da fração silte.

A capacidade do solo em fornecer nutrientes depende de sua reserva em elementos químicos, como também das condições que favoreçam o balanço entre perdas e ganhos no sistema solo, onde as perdas ocorrem principalmente pela erosão (comuns em terrenos acidentados) e lixiviação (comuns em terrenos planos e muito permeáveis), enquanto que os ganhos ocorrem com intemperismo (maiores nos solos eutróficos com minerais primários facilmente intemperizáveis em terrenos planos ou acidentados) e adições (RESENDE et al., 1999).

Solos com teores elevados de minerais potássicos revelam deficiência de potássio para as plantas em função da resistência relativamente elevada ao intemperismo do mineral e a grande facilidade de lixiviação deste nutriente, favorecendo as perdas por erosão e lixiviação (RESENDE et al., 1999; SAMPAIO, 2006). A presença de carbonatos como a calcita (CaCO_3), dolomita $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ e magnesita (MgCO_3), são minerais de elevado potencial químico constituindo uma importante reserva para a fertilidade do solo (ABRAHÃO e MELLO, 1998; SAMPAIO, 2006).

Neste contexto, é evidente que a caracterização mineralógica do solo, principalmente da fração argila, é de extrema importância para compreender o comportamento do mesmo, e por sua vez, definir as práticas agrícolas mais adequadas.

2.4. Técnicas de Caracterização do Solo

2.4.1. Técnicas de Caracterização Física

Para que se possam determinar estratégias de manejo que supram as necessidades de conservação do solo é necessário se conhecer também as características físicas do solo. Carneiro et al (2009), constataram, através de análises físicas, alterações na densidade do solo, porosidade total e macroporosidade em um Neossolo, sob atividade antrópica. Atributos físicos que, segundo os autores, sofreram modificações provavelmente pelo

pisoteio animal e o transito de máquinas agrícolas. Comprovando, desse modo, que as atividades agrícolas, quando não executadas de maneira sustentável, podem resultar no desgaste ou degradação das propriedades físicas do solo.

Estas análises são de suma importância em levantamentos pedológicos, bem como para o manejo físico do solo. Além disso, em algumas delas, não ocorre o uso de reagentes mantendo, desse modo, a integridade química da amostra e reduzindo os custos em laboratório. Das análises físicas do solo, pode-se destacar a textura e a densidade do solo.

A textura do solo constitui-se numa das características físicas mais estáveis e representa a distribuição quantitativa das partículas do solo quanto ao tamanho. A grande estabilidade faz com que a textura seja considerada elemento de grande importância na descrição, identificação e classificação do solo. A textura do solo confere alguma qualidade ao solo, no entanto, sua avaliação apresenta conotação prioritariamente quantitativa. Areia, silte e argila são as três frações texturais do solo que apresentam amplitudes de tamanho variáveis em função do sistema de classificação adotado (FERREIRA e DIAS JR., 2001).

A densidade do solo (d_s) tem sido usada como medida da qualidade do solo devido às suas relações intrínsecas com outros atributos, como porosidade, umidade do solo, condutividade hidráulica etc. (COSTA et al., 2007; DAM et al., 2005; MARTINS et al., 2009; THIMÓTEO et al., 2001). Segundo Reichardt e Timm (2008), esta análise pode ser usada como um índice do grau de compactação do solo. Devido o solo ser um material poroso, por compressão, a mesma massa pode ocupar um volume menor, o que altera a sua estrutura, arranjo, volume de poros e as características de retenção de água.

2.4.2. Técnicas de Caracterização Química

As análises mais comuns na grande maioria dos laboratórios brasileiros, que avaliam a fertilidade básica de solos através dos macronutrientes disponíveis. As análises são: a determinação de teores de cálcio e magnésio trocáveis ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), acidez potencial ($\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$), sódio (Na^+), potássio (K^+) e fósforo extraíveis com solução de Mehlich⁻¹(P) (EMBRAPA, 1997).

De acordo com Serrat et al. (2002), através dessa análise pode-se verificar a necessidade do uso de corretivos para a acidez e fertilizantes no solo, tendo que ser

executada com pelo menos 1 a 3 meses antes do plantio e, dependendo do tipo de cultura, recomendado com intervalo de 2 a 4 anos.

Apesar de eficazes, segundo Lira (2013), estas análises demandam mais tempo e apresentam menor precisão devido a erros humanos durante o manuseio das amostras e reagentes, quando comparado com a Fluorescência de Raios-X que exige um contato menor do técnico com as amostras e reagentes durante todo o processo de análise, de modo que estas análises determinam todo o quantitativo do elemento encontrado no solo.

2.4.3. Técnicas Espectroscópicas de Caracterização

As técnicas espectroscópicas utilizadas nas análises físicas, químicas e mineralógicas são técnicas que podem de uma forma geral ser integradas a Ciência do Solo. O uso dos referidos métodos de análise traz uma série de vantagens, destacando-se a redução no tempo de análise, diminuição substancial nas quantidades de amostra, ampliação da capacidade de identificar ou caracterizar estruturas mais complexas, redução dos erros humanos nos processos analíticos por não exigir manuseio das amostras e das soluções apropriadas para realização das análises (LIRA, 2013).

Ferraresi et al. (2012), ressaltam que a espectroscopia de infravermelho, é aplicável na rotina de análise granulométrica do solo, dentro da precisão necessária para sua classificação. A técnica espectroscópica tem vantagem sobre o método tradicional devido sua rapidez, menor preparo da amostra, possibilidade de automação e maior número de amostras analisadas por dia.

Segundo Vaz Jr. (2010), nas técnicas espectroscópicas tem-se a resposta analítica vinda da interação do analito, orgânico ou inorgânico, com a radiação eletromagnética em diferentes comprimentos de onda. Estão divididas em técnicas espectroscópicas atômicas e técnicas espectroscópicas moleculares, onde as primeiras observam o efeito da absorção da radiação por um determinado átomo e as segundas observam o efeito da absorção da radiação por uma determinada molécula ou grupamento químico.

As aplicações das técnicas espectroscópicas têm aumentado nos últimos anos. Além de apresentarem uma maior confiabilidade, vale ressaltar também o fato de serem técnicas não destrutivas. Entretanto, para o meio agrônomo, é necessário que se utilize as técnicas convencionais de análises químicas como complemento às técnicas espectroscópicas

devido à necessidade de se conhecer também a disponibilidade dos nutrientes na solução do solo para as culturas.

a) Fluorescência de Raios-X

A análise Fluorescência de Raios-X (FRX) baseia-se na medida das intensidades dos Raios-X característicos emitidos pelos elementos químicos componentes da amostra, quando devidamente excitada (JENKINS, 1981). Visando dinamizar os processos analíticos por meio de análises mais rápidas e de simples realização, a espectrometria de FRX destaca-se por ser uma técnica instrumental, não destrutiva e por permitir a determinação simultânea de vários elementos com uma ampla faixa de números atômicos, de modo rápido e com baixo custo. (JENKINS, 1999; GONÇALVES et al., 2008; ABREU Jr. et al., 2009; PATACA et al., 2005). Segundo Mori et al. (1999), a FRX foi utilizada por ser um dos métodos instrumentais rotineiros empregados nas análises de elementos em rochas, dentre outros, e por permitir a determinação do teor de elementos numa amostra, utilizando as intensidades de Raios-X característicos emitidos, possibilitando a detecção simultânea de elementos numa ampla faixa de número atômico e teores.

A FRX é uma técnica bastante eficaz em conjunto com DRX. Vários estudos em solos utilizam esta técnica para determinação de seus teores elementares ou de óxidos totais, tais como Carneiro e Nascimento Filho (1996), Coelho e Vidal-Torrado (2000 e 2003), Alves et al., (2008), Gonçalves (2008), Wastowski et al. (2010), entre outros.

Coelho e Vidal-Torrado (2000 e 2003) determinaram a concentração de *Fe* e *Mn* de solos do município de Pindorama-SP e avaliaram os atributos químicos de solos de São Paulo utilizando a FRX, enquanto Alves et al., (2008) utilizaram a técnica para determinar quantitativamente os teores de *Si* e *Al* regionais.

Gonçalves (2008) determinou a presença predominante de *Al*, *Si*, *Fe* e *Ti* em ordem decrescente de porcentagem do óxido em amostras de Latossolo Vermelho distrófico, porém não encontrou diferença significativa da quantidade de óxido comparando sistemas de manejo e profundidades.

Visando dinamizar os processos analíticos por meio de análises mais rápidas e de simples realização, a espectrometria de fluorescência de Raios-X por energia dispersiva (EDXRF) destaca-se como uma importante alternativa, com crescente aplicação na identificação de solos, sem a necessidade de destruição da amostra, bem como sem

nenhum pré-tratamento químico e podendo atingir limites de detecção da ordem de 1 a 20 ppm (WASTOWSKI et al. 2010).

Aplicando esta modalidade Carneiro e Nascimento Filho (1996) utilizaram a técnica para determinar simultaneamente a concentração de vários elementos em amostras geológicas, além dos estudos desenvolvidos por Wastowski et al. (2010) que buscaram caracterizar as alterações nos níveis dos metais mais importantes para a nutrição de plantas, presentes num mesmo tipo de solo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. Foram quantificados todos os elementos presentes no solo e avaliados os teores dos nove principais metais presentes sob o ponto de vista de nutrição de plantas, sendo estes: potássio (*K*), fósforo (*P*), cálcio (*Ca*), enxofre (*S*), alumínio (*Al*), cobre (*Cu*), zinco (*Zn*), manganês (*Mn*) e ferro (*Fe*). E ainda a presença de 16 elementos, nos sistemas amostrados e em ambas as profundidades, sendo este: silício (*Si*), ferro (*Fe*), alumínio (*Al*), titânio (*Ti*), enxofre (*S*), cálcio (*Ca*), manganês (*Mn*), vanádio (*V*), potássio (*K*), fósforo (*P*), zircônio (*Zr*), cobre (*Cu*), cromo (*Cr*), zinco (*Zn*), nióbio (*Nb*) e ítrio (*Y*), respectivamente, em ordem decrescente de quantidade (g kg^{-1}) presente no solo.

Além disso, neste estudo (WASTOWSKI et al. 2010), os autores observaram que os teores de *Fe* encontrados foram os maiores entre os metais avaliados, por estar relacionado ao material de origem do solo, rico em minerais com a hematita (Fe_2O_3), olivina ($(\text{MgFe})_2\text{SiO}_4$) e goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$), além de ressaltarem que os resultados obtidos podem ser utilizados na avaliação das modificações existentes nos teores de elementos químicos presentes no solo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, além de terem observado

b) Difração de Raios-X (DRX)

De acordo com Fabris et al., (2009) e Lacera et al. (2001), a de Difração de Raios-X (DRX) é uma técnica não destrutiva e rápida de análises, que fornece informações sobre a mineralogia e a composição dos solos, sendo esse o método comumente utilizado para caracterizar qualitativa e quantitativamente a composição mineral dos mesmos. Informações adicionais como os dados da geologia e material de origem, cor, granulometria, entre outras, facilitam a interpretação dos difratogramas, visto ser possível ter sobreposição de picos em um difratograma, em função da complexidade de minerais possíveis em um mesmo tipo de solo (FABRIS et al., 2009).

A DRX é uma das técnicas mais indicadas ao se caracterizar argilominerais, visto que uma análise química apenas citaria os elementos químicos presentes nos solos e não indicaria a sua ligação na estrutura do material. Desta forma, a DRX é uma técnica vantajosa para caracterização de fases minerais, pois apresenta simplicidade, rapidez e confiabilidade quanto à obtenção dos resultados e cada difratograma é característico para cada fase cristalina (ALBERS et al., 2002).

Ferreira et al. (1999) estudando Latossolos observou que a caulinita e gibbsita são os constituintes mineralógicos responsáveis pelo desenvolvimento da estrutura dos solos estudados. A presença da caulinita, cujas partículas se acham envoltas em plasma denso, contínuo, desenvolvem macroestrutura do tipo em blocos, consequência do ajuste face a face das placas de caulinita e a gibbsita, cujo plasma apresenta estrutura micropédica bem definida, revelam macroestrutura do tipo granular, consequência da ausência do ajuste. Enquanto Giarola et al. (2009), analisando a fração argila de horizontes coesos de solos nos tabuleiros costeiros por difratometria de Raios-X, concluíram também à predominância de caulinita.

Camargo et al. (2009) em seus estudos observaram que a gibbsita e minerais do grupo da caulinita são componentes principais da fração argila de solos de regiões tropicais e subtropicais. A baixa cristalinidade desses minerais do solo é refletida nos difratogramas de Raios-X, através da alteração de intensidade dos espaçamentos basais ou característicos e/ou alargamento e fusão de "reflexões", com diminuição de intensidade, dificultando sua quantificação.

Brighenti et al. (2012) trabalhando com amostras saturadas mostra que a diluição dos picos a partir dos valores $d=1,384$ nm em direção a valores $d=1,000$ nm pelo aquecimento indica que parte das camadas da clorita é expansível, sugerindo também a existência de interestratificados clorita-vermiculita. A composição mineralógica da fração argila dos solos estudados foi bastante similar entre os perfis, com predomínio de caulinita, seguida de proporções variáveis de illita, ou clorita, vermiculita com hidróxi-Al entre camadas e interestratificados illita e vermiculita.

Além de identificar as fases cristalinas, a técnica de difração de Raios-X permite evidenciar o material amorfo, constituinte secundário, na grande maioria de solos provenientes de regiões tropicais e subtropicais. O interesse no estudo do material amorfo deve-se à sua grande superfície específica, alta reatividade com fósforo e capacidade de troca de cátions.

De acordo com Monteiro (2010), pela utilização desta técnica é fácil observar os diferentes minerais encontrados em cada fração textural em diferentes tipos de solos do Estado da Paraíba, como pode ser observado pela Tabela 1.

Tabela 1: Tipos de minerais encontrados nas frações texturais em diferentes tipos de solos. (MONTEIRO, 2010)*

Tipos de Solos	Fração Areia	Fração Silte	Fração Argila
Argissolo Amarelo	Quartzo, Hematita Magnetita	Quartzo, Hematita Caulinita	Caulinita, Gibbsita Anatásio
Latossolo Amarelo	Quartzo Biotita	Caulinita Quartzo	Caulinita, Goetita Anatásio
Argissolo Acinzentado	Quartzo, Feldspato, Magnetita, Biotita, Turmalina, Hematita Muscovita, Horblenda, Potássio, Ilmenita, Pirrotita	Caulinita Pagioclásio Quartzo	Caulinita Goetita Ilita.
Argissolo Vermelho Eutrófico - PVe	Quartzo, Feldspato, Goetita Magnetita, Biotita Muscovita, Caulinita Turmalina, Hematita	Quartzo Goetita Caulinita Ortoclásio	Caulinita Goetita Anatásio
Argissolo Vermelho Amarelo - PVA	Feldspato, Turmalina, Titanita, Caulinita, Biotita, Goetita	Caulinita Quartzo	Caulinita Goetita
Argissolo Vermelho Distrófico - Pvd	Quartzo, Feldspato, Muscovita Turmalina, Biotita, Titanita, Magnetita	Quartzo Ortoclásio	Caulinita Quartzo Goetita
Luvisso Háplico – TX	Quartzo, Feldspato, Turmalina Muscovita, Biotita,	Quartzo, Feldspato Pagioclásio	Quartzo, Ilita Pagioclásio
Planossolo Háplico – SX	Quartzo, Feldspato, Wollastonita, Biotita, Turmalina Titanita, Caulinita	Pagioclásio Quartzo	Ilita Caulinita
Vertissolo Háplico – VX	Quartzo, Feldspato, Calcita Biotita, Muscovita, Titanita	Quartzo, Calcita Pagioclásio	Caulinita, Ilita Esmeclita
Neossolo Litólico-RL	Quartzo, Feldspato Horblenda, Biotita	Horblenda, Quartzo Feldspato	Ilita, Caulinita Esmeclita
Neossolo Regolítico – RR	Quartzo, Feldspato Horblenda, Biotita, Muscovita, Magnetita	Quartzo, Horblenda Pagioclásio, Biotita	Caulinita, IlitaEsmeclita
Neossolo Flúvico – RY	Quartzo, Feldspato Biotita, Calcita	Quartzo, Calcita Pagioclásio	Quartzo

*Banco de Solos do Estado da Paraíba.

Embora a literatura sobre o uso das técnicas espectroscópicas seja vasta para caracterização de materiais cerâmicos, metálicos e poliméricos, existem alguns aspectos que ainda merecem ser sistematicamente avaliados, principalmente, quando se considera a capacidade destas técnicas para caracterização de solos com o objetivo de contribuir positivamente para questões de sustentabilidade e servicibilidade, mediante a utilização de técnicas de caracterização de solos que evitem contaminação em função de descarte inadequado de reagentes, preservem as amostras, além de serem de fácil realização (LIRA, 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e Seleção da Área de Estudo

Esta pesquisa foi conduzida em áreas selecionadas na cidade de Areia, localizada na Microrregião do Brejo Paraibano, Mesorregião do Agreste Paraibano, Estado da Paraíba, Nordeste do Brasil, nas coordenadas geográficas: Latitude 6° 57' 42'' Sul, 35° 41' 43'' Oeste. Sua Área é 269 Km² representando 0.4774% do Estado, 0.0173% da Região e 0.0032% de todo o território de Brasileiro. A sede do município tem uma altitude aproximada de 618 metros distando 92,9713 Km da capital (Gondim et. al., 2010), clima úmido tipo As, segundo a classificação de Köppen, com chuvas de outono-inverno, apresentando temperatura média anual entre 23 a 24° C e precipitação média anual de 1.360 mm, ocorrendo um déficit hídrico que se estende entre os meses de outubro a fevereiro (Figura 1).

A Figura 2 apresenta a localização da cidade de Areia, dentro do País e Estado, respectivamente.

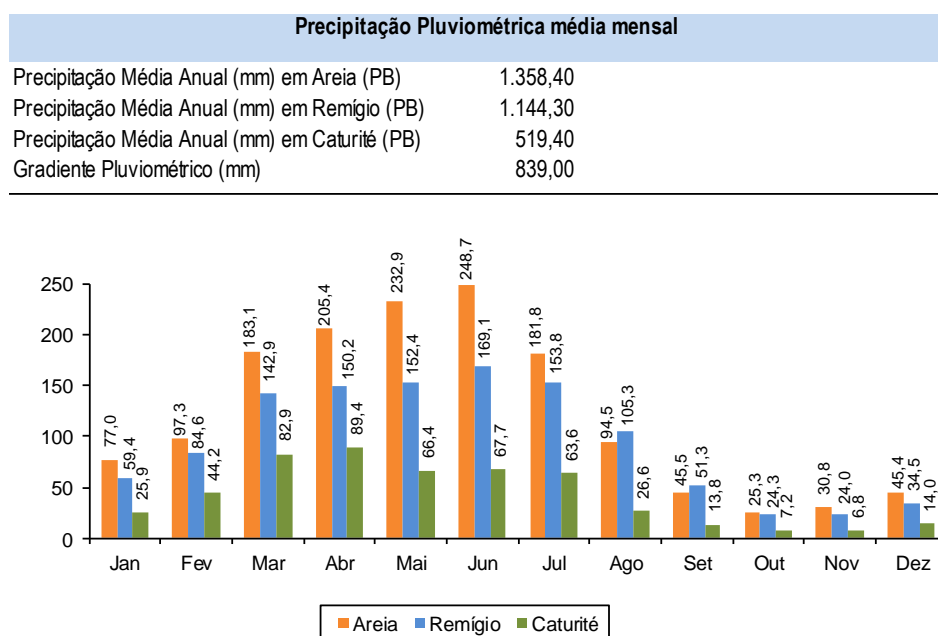


Figura 1: Histograma de Precipitação média anual nos município de Areia, Remígio e Caturité, Estado da Paraíba (AESA, 2007).



Figura 2: Localização da cidade de Areia dentro do País e do Estado (Fonte: Google Earth, jan/2015)

As atividades econômicas do município de Areia estão concentradas na lavoura, onde pontificam as plantações de cana-de-açúcar, feijão, mandioca, milho e banana (BARBOSA et al. 2010).

A princípio, foram selecionadas três áreas de estudo com diferentes sistemas de cultivo (agricultura, pastagem e mata nativa), que apresentam características de encosta. Estas foram georeferenciadas no aparelho GPS Garmin® 76, como mostra a Figura 3.

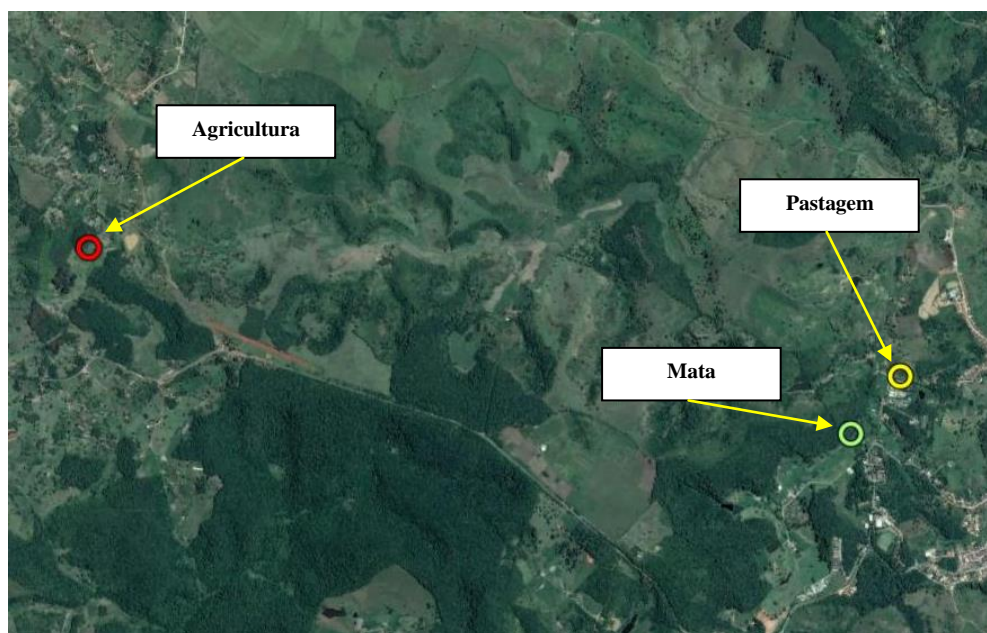


Figura 3: Imagem de satélite demonstrando a localização das áreas onde foram feitas as coletas de solo: vermelho-agricultura; verde-mata; e amarelo-pastagem. Fonte: adaptado do Google Earth© (2015).

Em cada área foi determinada sua declividade através de um clinômetro tipo Abney e o relevo da área classificado conforme as orientações do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS (Embrapa, 2013).

3.2. Amostragem do solo

As amostras foram coletadas seguindo a metodologia adaptada de Lira (2013). Em cada área, foi realizado um esquema de malha, marcando distâncias de 10,0 m entre os pontos (Figura 4a), com o auxílio de uma trena de fibra de vidro Western® de 50,0 m e piquetes de madeira.

Foram selecionados 6 (seis) pontos em cada posição na encosta (exceto na área de mata que foram marcados apenas 2 (dois) pontos devido a estabilidade composicional, mineralógica e física da área adotada como referência), sendo estas: Terço Superior (S), Terço Médio (M) e Terço Inferior (I), conforme esquema da Figura 4b.

Depois, os mesmos foram marcados com o auxílio do aparelho GPS Garmin 76, para uma localização mais exata dos pontos de coleta de solo. A Figura 5 mostra a distribuição dos pontos nas respectivas áreas. Nesse processo, foram efetivadas três coletas de solo nas respectivas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, utilizando um trado tipo sonda (Figura 6).

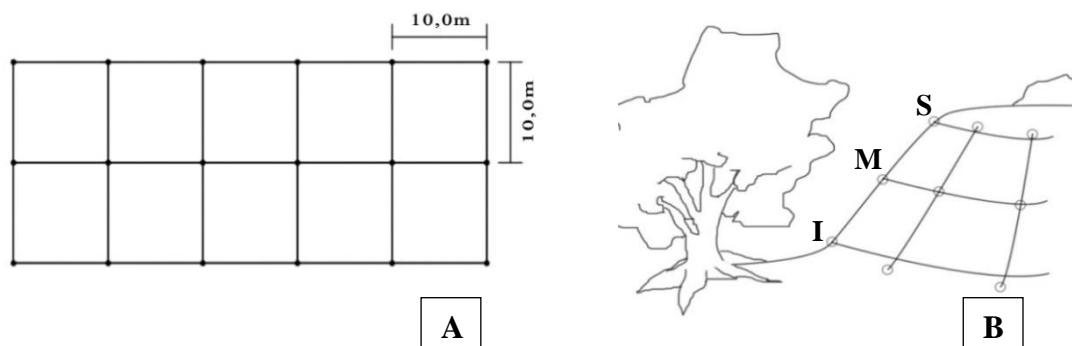


Figura 4: (A) Esquema de malha. (B) Esquema da disposição dos pontos de coleta nas posições da encosta.

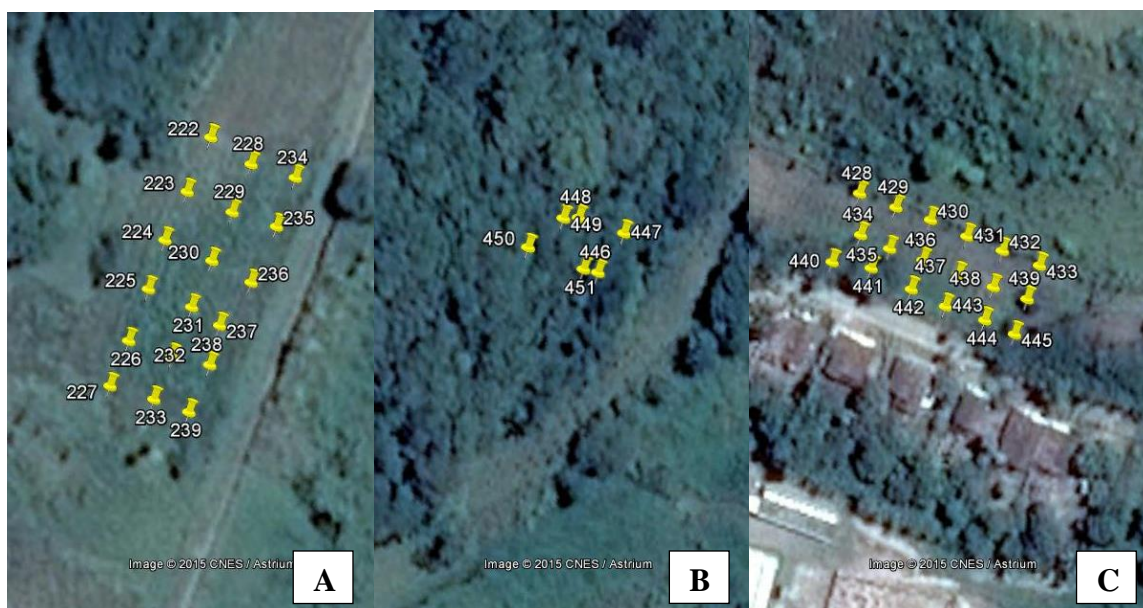


Figura 5: Distribuição dos pontos de coleta nas áreas selecionadas. (A) Área de Agricultura; (B) Área de Mata; e (C) Área de Pastagem. Fonte: Adaptado do Google Earth© (2015).

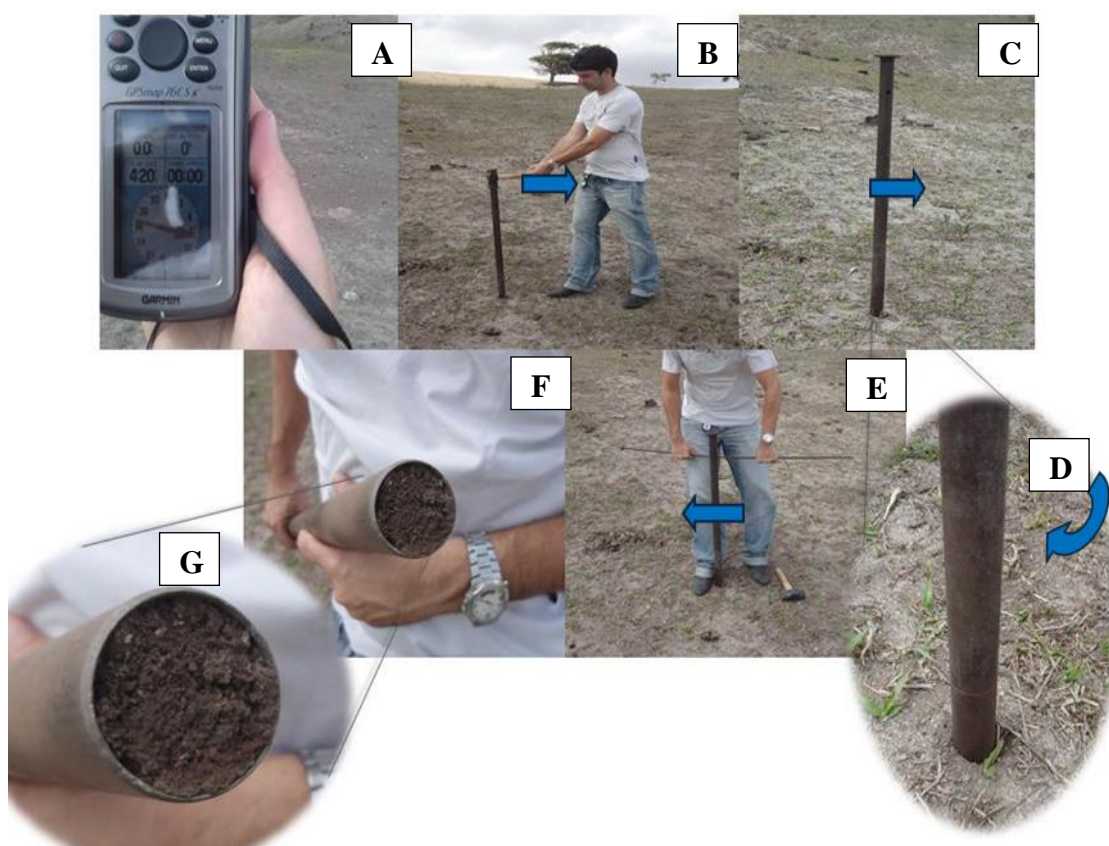


Figura 6: Processo de coleta das amostras de solo. A) GPS utilizado para o georreferenciamento, B) Fixação do Trado, C) Trado fixado, D) Detalhe do Trado ficado na profundidade trabalhada, E) Retirada da amostra, F) Amostra coletada pelo Trado, G) Detalhe da amostra. Fonte: Lira (2013).

A Figura 7 a seguir apresenta a nomenclatura adotada na pesquisa, relacionando as áreas trabalhadas e seus respectivos pontos amostrais, as posições no relevo e as profundidades onde foram coletadas as amostras. As amostras de solo foram condicionadas em sacos plásticos, devidamente etiquetados com os dados da origem da amostra, e levadas ao Departamento de Solos e Engenharia Rural do CCA/UFPB para as devidas metodologias.

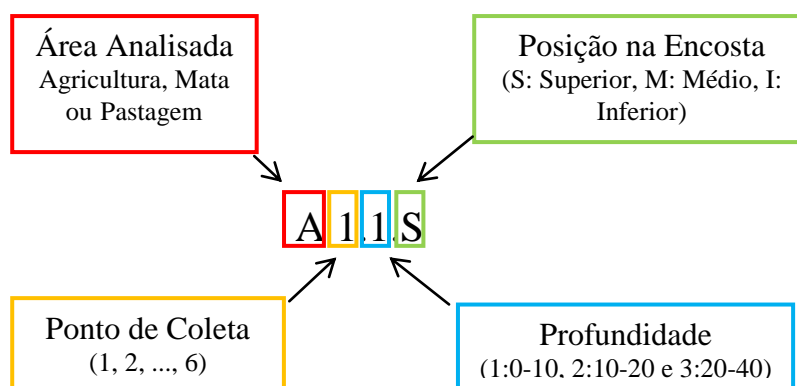


Figura 7: Nomenclatura adotada na pesquisa.

Segundo funcionários que cuidam da área, em entrevista realizada com os mesmos durante as visitas técnicas, de agricultura nessa foram cultivadas batata, inhame, feijão vagem e berinjela, nos últimos 5 (cinco) anos para fins experimentais. A área já foi adubada com adubo orgânico (esterco bovino), ureia e superfosfato simples (SFS), dispostos no plantio e durante o desenvolvimento das culturas.

A área de mata é uma reserva florestal que está localizada por trás do Viveiro de Fruticultura, do Centro de Ciências Agrárias - CCA/UFPB. Normalmente, segundo o funcionário que realiza a manutenção do viveiro, é um local pouco explorado devido à densidade de plantas (mata fechada) somada à declividade acentuada.

A área de pastagem havia sido conservada pelos últimos 10 anos, sendo transitada por poucos animais. No início de 2014, quando foram iniciadas as coletas de solo, a área teve o pasto retirado, sendo efetivadas, também na área, queimadas em pontos aleatórios, além do plantio de culturas anuais (milho e feijão).

3.3. Preparo das amostras e Realização das análises químicas e físicas

No Departamento de Solos e Engenharia Rural – DSER/CCA/UFPB, as amostras de solo foram, inicialmente, postas para secar à sombra (TFSA). Após esse processo, houve o destorroamento das amostras com o auxílio de um rolo-de-massa, reduzindo o

tamanho das partículas. Depois, as amostras foram transmitidas por uma peneira com malha de 2,0 mm, conforme descrito em Embrapa (1997). Desse processo as amostras foram destinadas aos processos de caracterização física e química, tendo sido realizadas no Lab-Sede de Química Analítica do Instituto Nacional do Semiárido – INSA. Foram utilizados os métodos descritos em Embrapa (1997) para determinação de pH (KCl); $H^+ + Al^{3+}$; Al^{3+} ; Ca^{2+} ; K^+ , Na^+ e P (Mehlich).

As análises físicas foram realizadas no Lab-Sede de Química Analítica do Instituto Nacional do Semiárido – INSA (densidade aparente do solo) e no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural – DSER/CCA/UFPB (textura do solo). Foram utilizadas as metodologias descritas em Embrapa (1997) para determinação da densidade aparente (DS) e textura do solo.

3.4. Preparo das amostras e Realização das Análises de FRX e DRX.

A análise da composição química dos foi realizada no Laboratório de Solidificações Rápida (LSR) da UFPB em Sequential X-ray Fluorescence Spectrometer, Modelo XRF-1800 da Shimadzu. Através de Fluorescência de Raios-X obteve-se os percentuais dos elementos de cada amostra e a análise mineralógica foi realizada no Laboratório de Tecnologia de Novos Materiais no LABEME-UFPB em equipamento *X-Ray Diffractometer* da marca *Bruker*, modelo *D2-Phaser*.

Parte das amostras preparadas para as análises química e física foram transmitidas em peneira de malha de 200 Mesh e acondicionadas em depósitos plásticos para posterior procedimento analítico.

Para as análises de FRX a amostra foi prensado a uma força de 50 KN durante 30 segundos formando pastilhas com 30,0 mm de diâmetro e 3,0 mm de espessura. A Figura 8 apresenta o esquema de preparação das amostras de solo para análise de FRX.

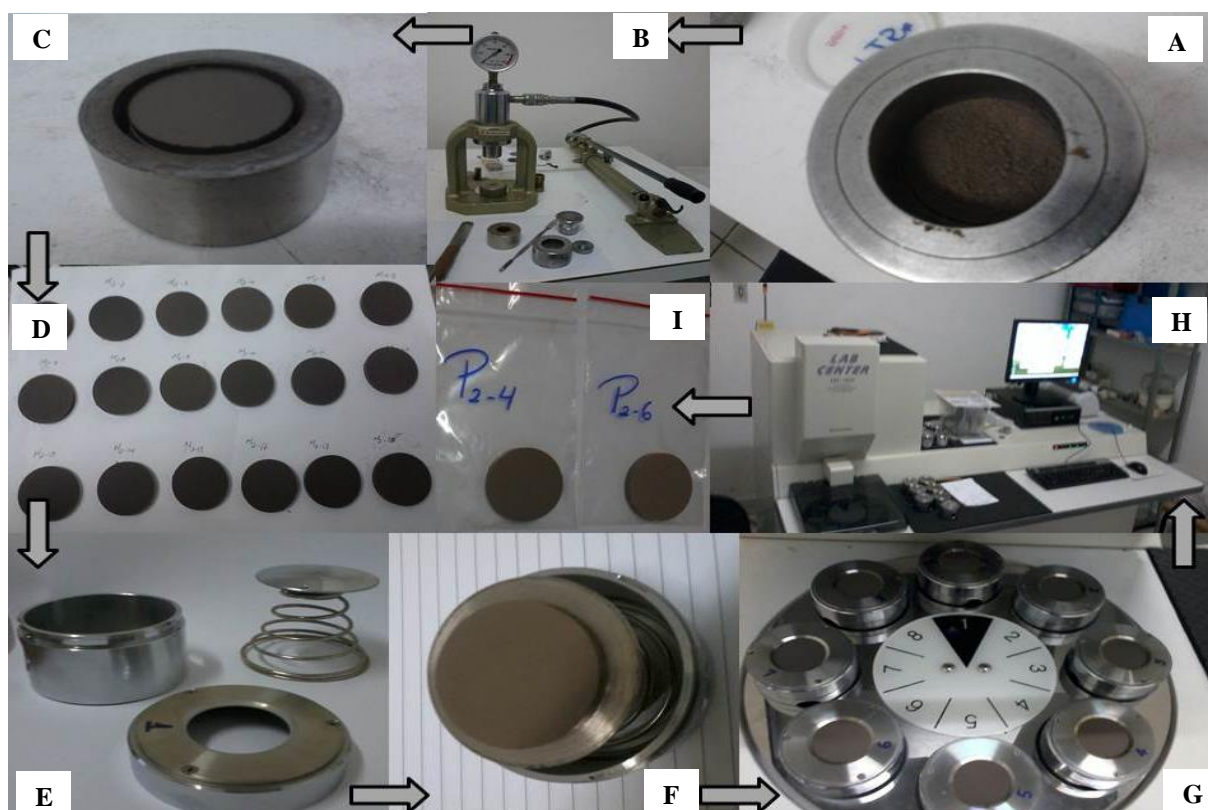


Figura 8: Preparo das Amostras para FRX e DRX: (a) Solo no molde, (b) Prensa, (c) Pastilha após ser prensada, (d) Pastilha identificadas para serem levadas a estufa, (e) Porta amostra para análise, (f) Pastilha no porta amostra, (g) porta amostras na bandeja de análise, (h) equipamento utilizado para análise, (i) acondicionamento das amostras após análise. Fonte: Lira (2013).

Para as análises de DRX a amostra transmitida em peneira de malha de 200 Mesh foi submetida à análise de difração de Raios-X, no equipamento *X-Ray Diffractometer*, como pode ser visualizado na Figura 9, operando com radiação $K\alpha$ de cobre, 30 kV e 10 mA, com varredura de 2θ entre 5° e 50° , com passo de $0,02^\circ/s$ e fenda de 0,1 mm. A análise dos difratogramas foi realizada pelo data base DIFFRAC.EVA versão 1.4 e a quantificação dos minerais pelo software TOPAS. As Figuras 9 e 10 apresentam o equipamento utilizado para análise e o passo a passo da preparação da amostra.

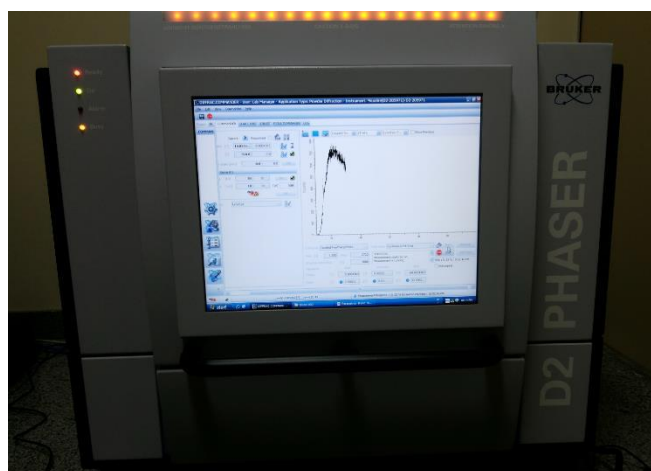


Figura 9: Equipamento *X-Ray Diffractometer* da marca *Bruker*, modelo *D2-Phaser*.

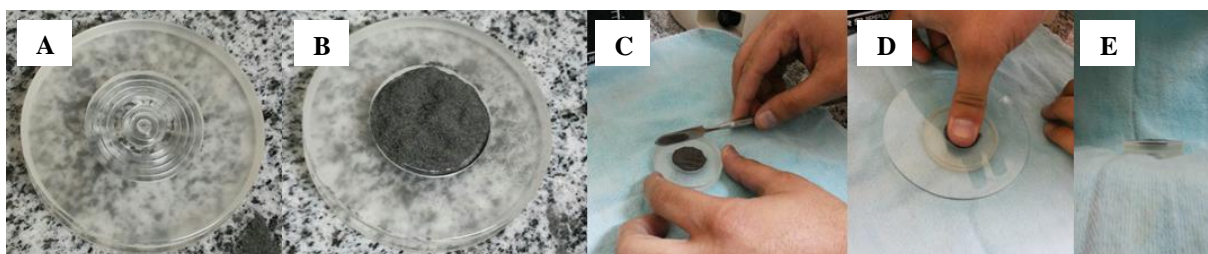


Figura 10: Passo a passo da preparação da amostra. A) Porta amostra, B) Amostra colocada no porta amostra, C) Limpeza do porta amostra, D) Prensagem da amostra para deixar a superfície paralela, E) Amostra preparada para ensaio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão apresentadas as caracterizações realizadas para os solos coletados nas áreas descritas na seção 3.

4.1. Área de Agricultura

4.1.1. Caracterização do Relevo

De acordo com o SiBCS (EMBRAPA, 2013) a área de encosta foi avaliada e classificada quanto a sua declividade. A Tabela 2 apresenta a classificação para a área de Agricultura.

Tabela 2: Classificação do relevo da Área de Agricultura.

Área de estudo	Declividade média (%)	Classificação do relevo da área
Agricultura	8,0	Suave Ondulado

Essa declividade terá grande influência na caracterização dos solos, e irá contribuir para o entendimento dos processos de lixiviação e fixação dos minerais.

4.1.2. Caracterização Mineralógica dos Solos.

Os difratogramas de Raios-X obtidos para o cultivo da área de Agricultura nas posições Terço Superior, Terço Médio e Terço Inferior, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, estão apresentados nas Figuras 11 a 19. A Tabela 3 sumariza as fases encontradas em cada posição.

Observa-se que, de modo geral, principais os minerais constituintes das amostras das áreas de Agricultura são: Quartzo (Qz), Caulinita (Ct), Feldspato (Fd), Albita (Ab), Goetita (Gt) e alguns traços de Mica (Mi) e Turmalina (Tu), porém não sendo identificada diferenças muito discrepantes acerca da composição mineralógica quanto as posições na encosta ou nas profundidades avaliadas. Isso, corrobora com as análises feitas por Martins (2009), o qual não identificou diferenças qualitativas contrastantes na mineralogia quanto as profundidades de coleta.

Tabela 3: Fases mineralógicas encontradas nos solos de agricultura.

Posição na Encosta	Prof.	Minerais
Terço Superior	0 – 10 <i>cm</i>	Quartzo, Caulinita; Feldspato; Albita e Goetita.
Terço Médio	0 – 10 <i>cm</i>	
Terço Inferior	0 – 10 <i>cm</i>	Quartzo, Caulinita; Feldspato; Albita, Goetita e Turmalina
Terço Superior	10 – 20 <i>cm</i>	Mica, Quartzo, Caulinita; Feldspato; Albita, Goetita e Turmalina
Terço Médio	10 – 20 <i>cm</i>	Mica, Quartzo, Caulinita; Feldspato; Albita e Goetita
Terço Inferior	10 – 20 <i>cm</i>	Mica, Quartzo, Caulinita; Feldspato; Albita, Goetita e Turmalina
Terço Superior	20 – 40 <i>cm</i>	Quartzo, Caulinita; Feldspato; Albita e Goetita
Terço Médio	20 – 40 <i>cm</i>	Mica, Quartzo, Caulinita; Feldspato; Albita e Goetita
Terço Inferior	20 – 40 <i>cm</i>	Quartzo, Caulinita; Feldspato; Albita e Goetita

As amostras demonstraram picos bem distintos para Quartzo, o qual aparece em grande quantidade na fração areia dos solos, influenciando nas propriedades físicas, como a textura, tornando-a, segundo Martins (2009), mais arenosa.

O Quartzo presente nessas amostras pode estar atuando como fonte contínua de sílica (FURIAN et al., 2002) mantendo a alta atividade de silício no meio e, conseqüentemente, favorecendo a formação da caulinita (LINDSAY, 1979). As ocorrências de minerais de argila, a exemplo da caulinita tornam-na importante fonte potencial de potássio para as plantas. O quartzo foi identificado pelo seu reflexo correspondente espaçamento basal de 0,334nm (2θ na ordem de $26,56^\circ$) em todas as amostras, que segundo Melo et al. (2004), são minerais que não apresentam reserva de potássio.

O reflexo correspondente ao espaçamento basal do feldspato foi observado nos difratogramas com acréscimo conforme se aumentava as profundidades. Pode-se observar que os minerais primários como o quartzo é predominante nessa área, confirmando que o ambiente apresenta baixo grau de intemperismo, e sendo corroborado pela classificação textural do solo.

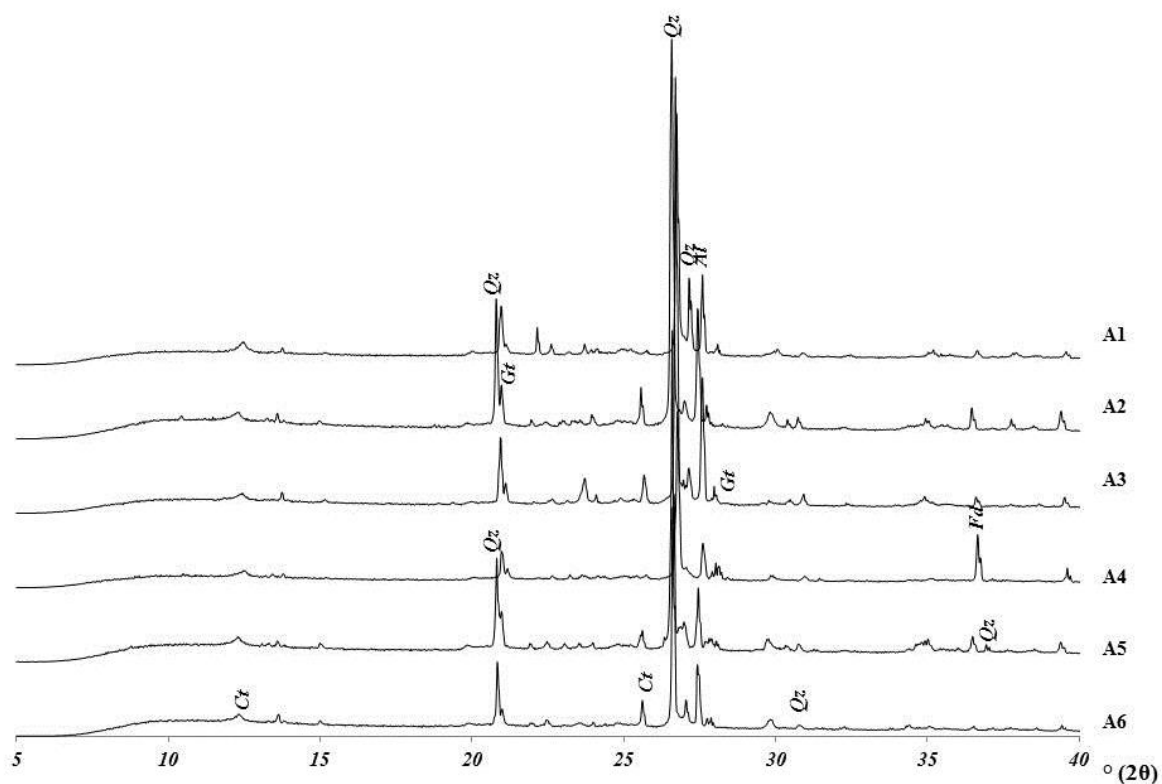


Figura 11: Difratomogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Superior (0-10 cm).

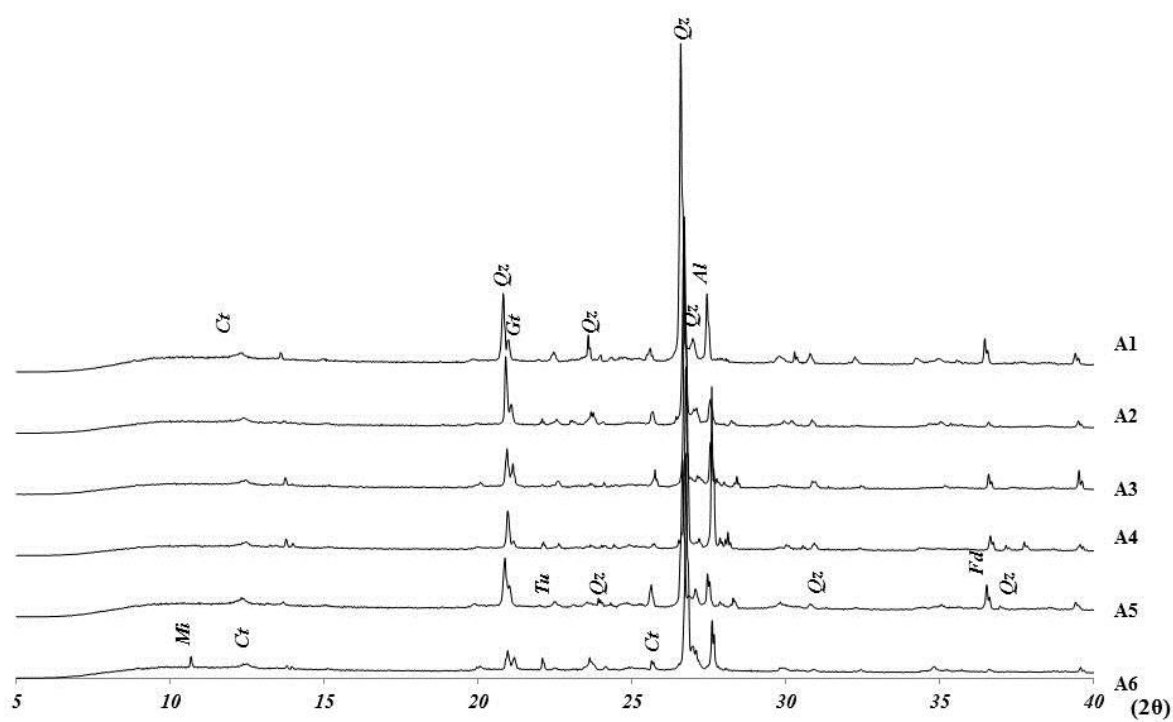


Figura 12: Difratomogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Superior (10-20 cm).

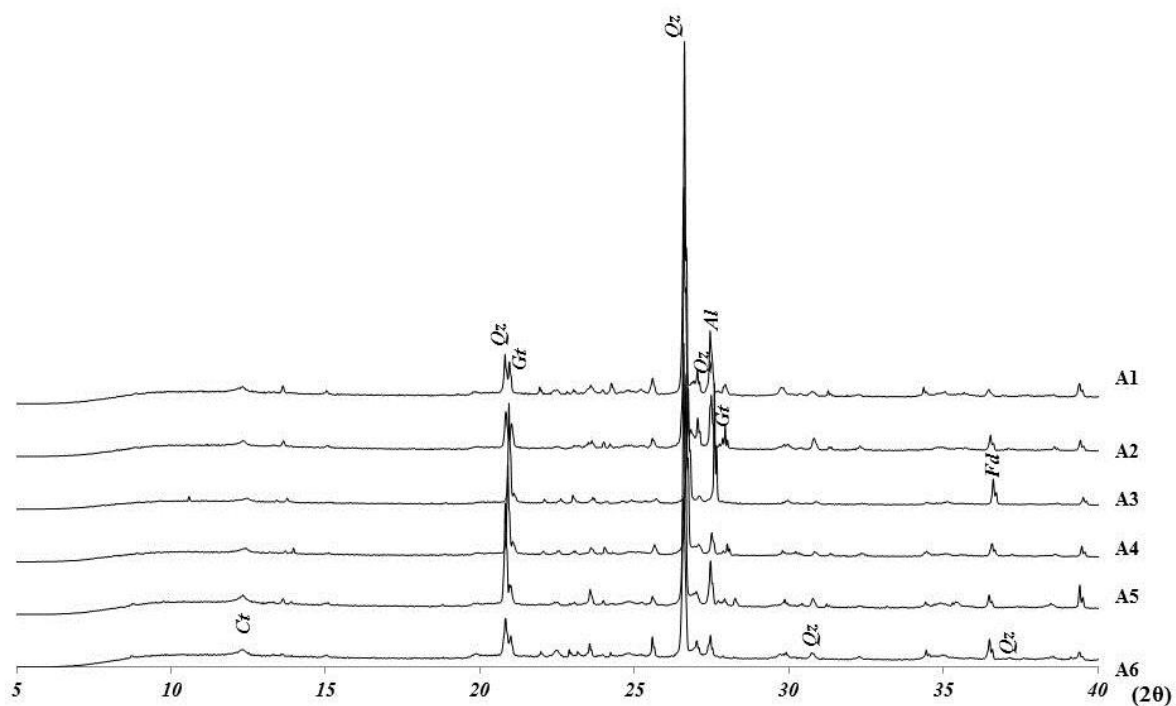


Figura 13: Difratomogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Superior (20-40 cm).

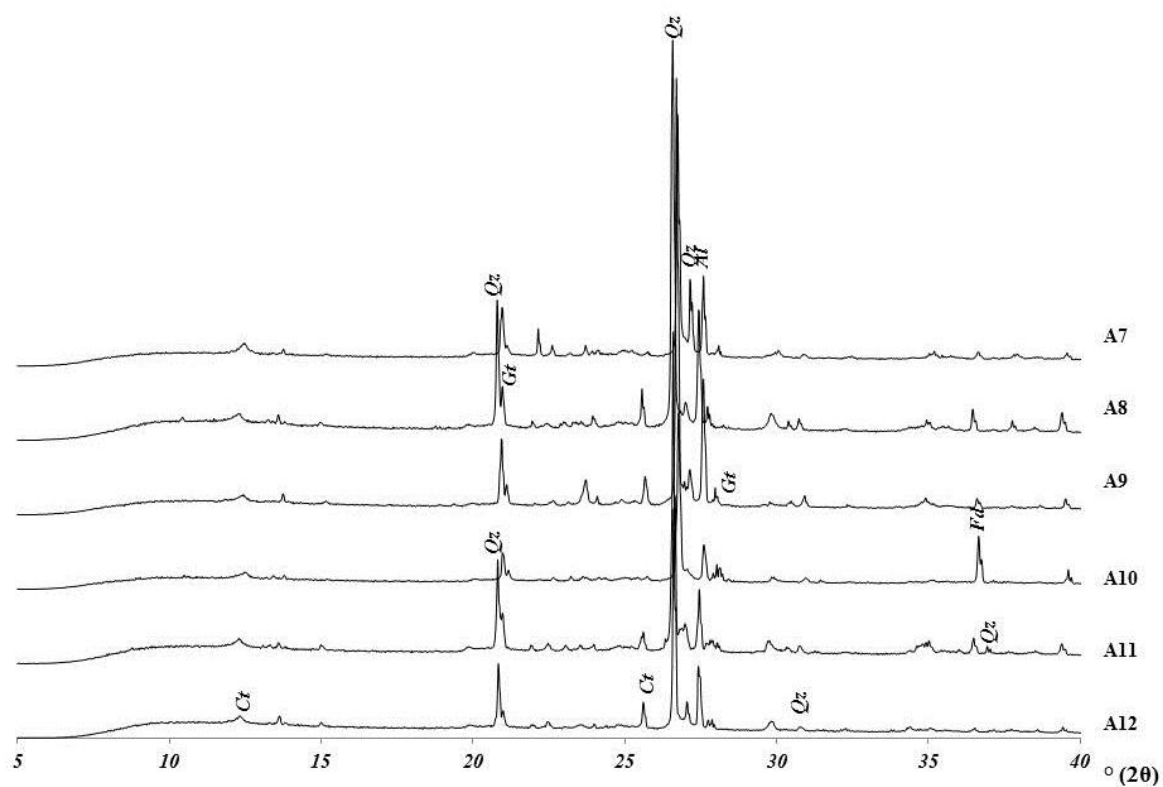


Figura 14: Difratomogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Médio (0-10 cm).

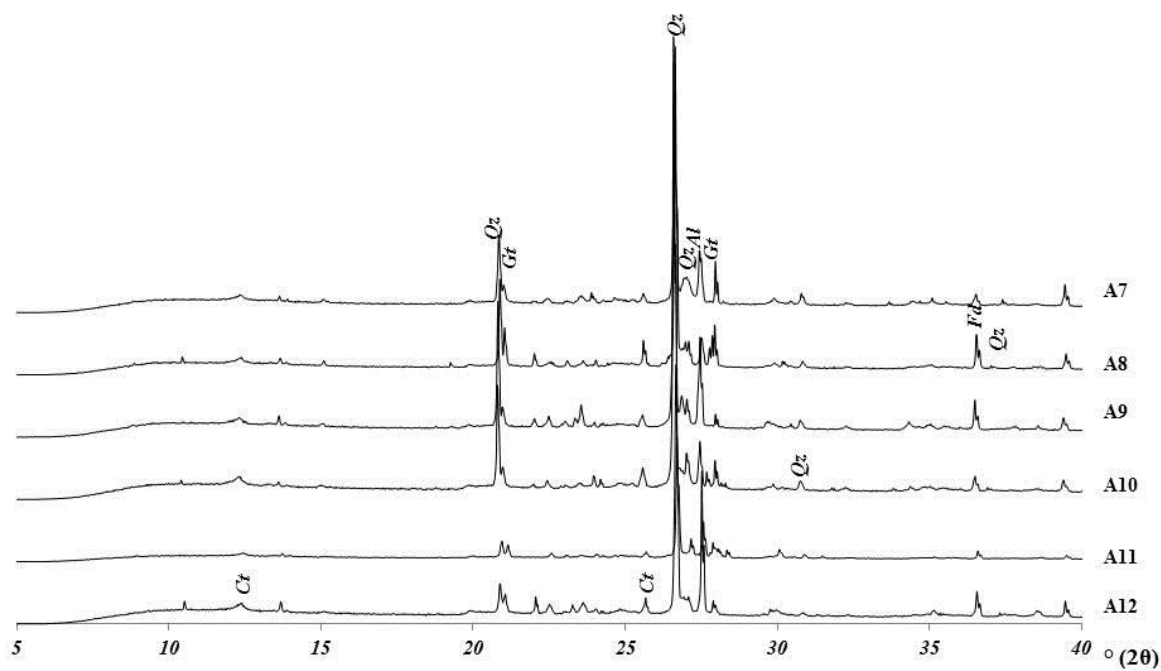


Figura 15: Difratomogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Médio (10-20 cm).

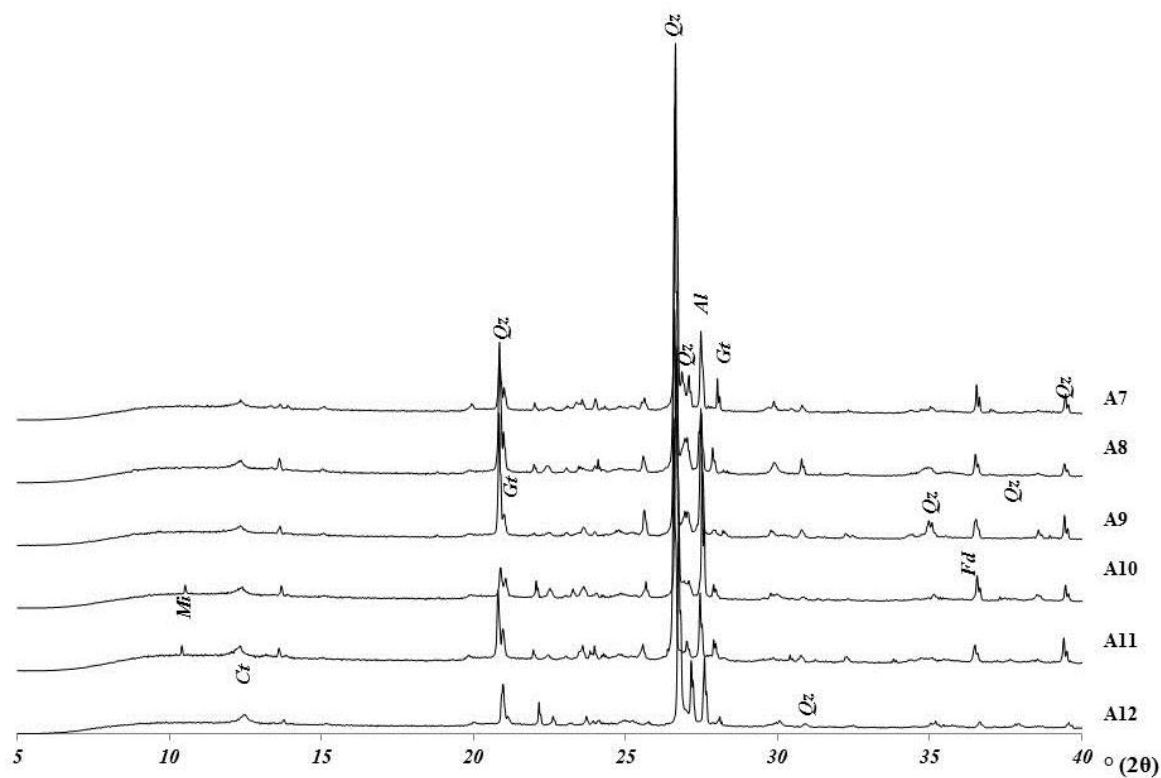


Figura 16: Difratomogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Médio (20-40 cm).

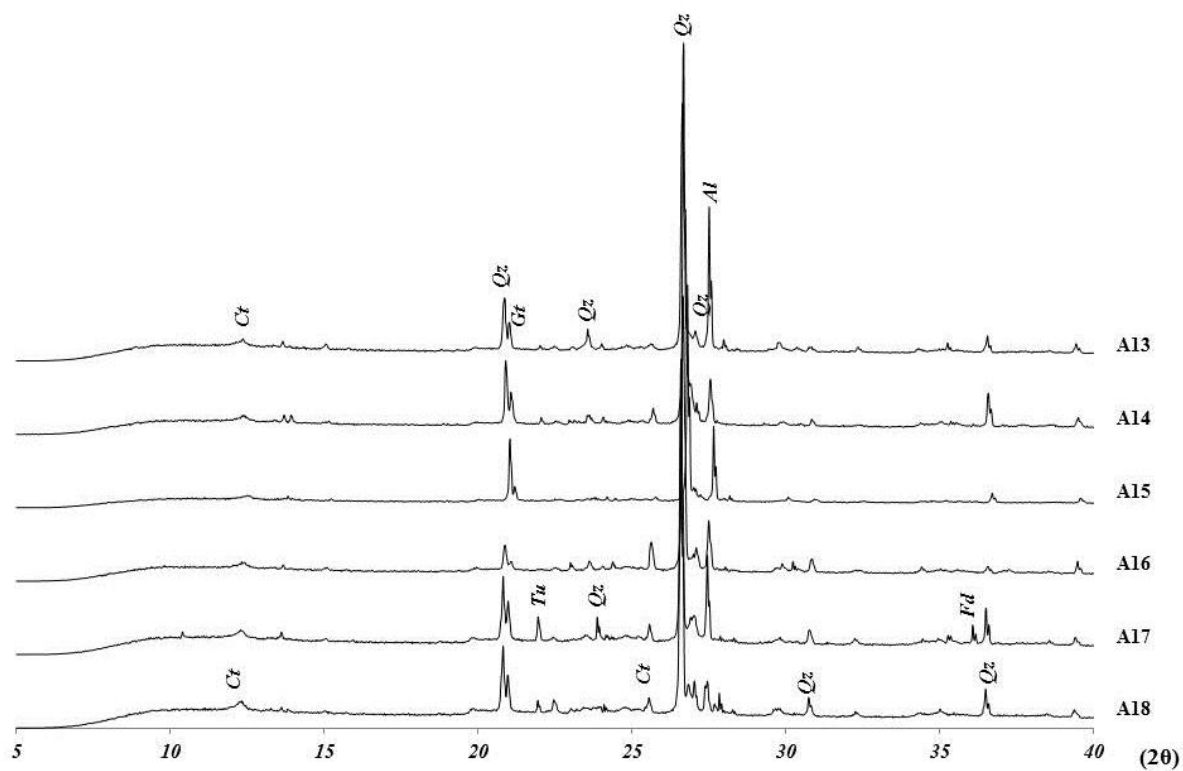


Figura 17: Difratomogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Inferior (0-10 cm).

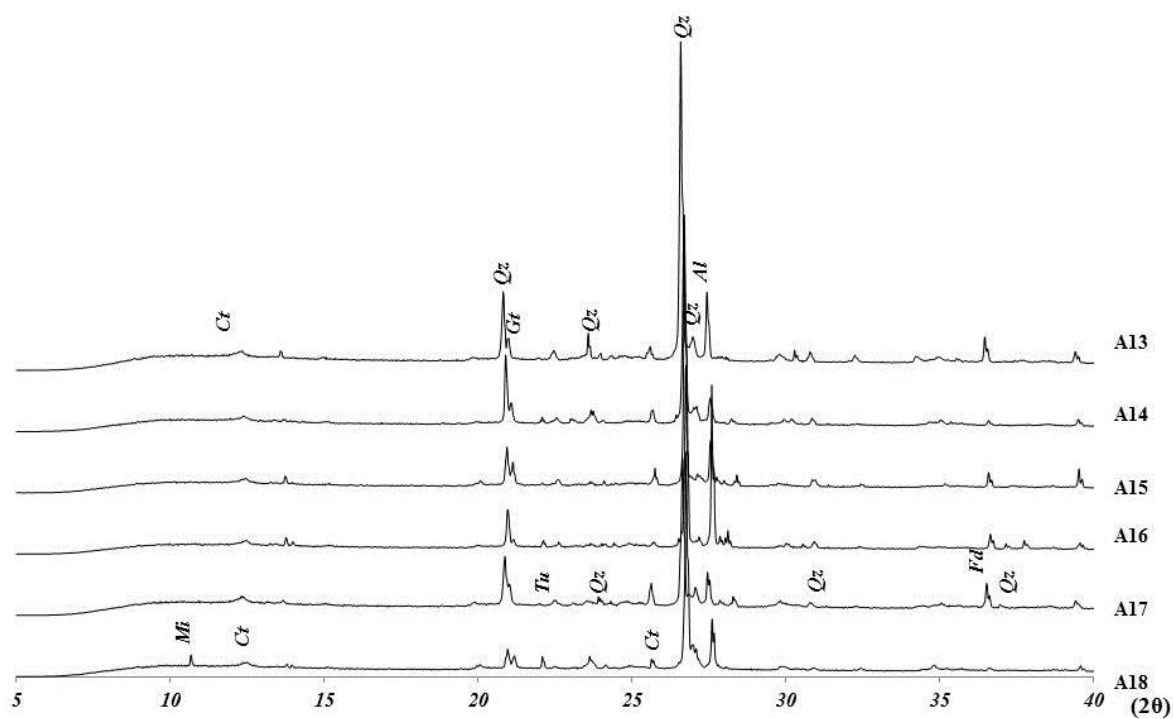


Figura 18: Difratomogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Inferior (10-20 cm).

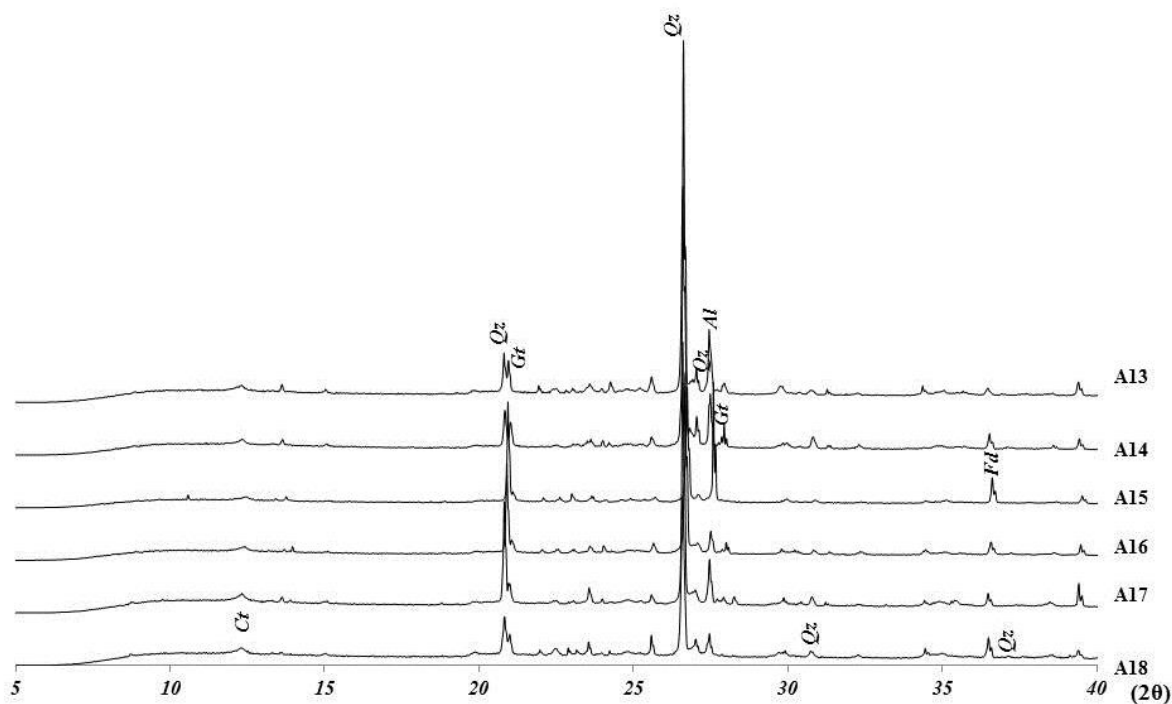


Figura 19: Difratogramas das amostras da Área de Agricultura na Posição Terço Inferior (20-40 cm).

4.1.3. Caracterização Física e Química dos Solos.

Conforme os dados apresentados na Tabela 4.1, pode-se observar que a área de Agricultura não sofreu grande influência da posição do relevo nos atributos físicos avaliados, exceto na posição de Terço Superior, na profundidade de 20–40 cm, em que apresentou teor de argila e silte levemente superior (86 e 135 g Kg⁻¹, respectivamente). Este resultado, no entanto, não interfere na classificação textural. Também foi observada uma leve diminuição nos valores de densidade aparente (DS) da área com o aumento da profundidade de coleta.

De acordo com a classificação descrita em Santos et al. (2005), conforme os teores de areia, silte e argila, o solo apresenta textura variando de Areia a Areia Franca, sendo essa mais predominante na profundidade de 20–40 cm. A classificação corrobora com a definida por Klein (2008) e com a mineralogia da área, conforme Martins (2009), tratando-se de solo leve, de textura arenosa (teor de areia > 70% e argila < 15%).

Pela Tabela 4.1 pode-se observar que as áreas de Agricultura menor acidez que as demais áreas (Tabelas 7.1 e 10.1). Com relação as posições na encosta, nota-se que o terço inferior da encosta apresentou valor médio de pH (pH_{KCl}) superior às demais posições

(5,5a), demonstrando menor acidez. Esse fenômeno também foi observado nas profundidades mais superficiais de 0-10 e 10-20 cm (5,4a e 5,3a, respectivamente). Os teores de Al^{3+} (acidez potencial), foram relativamente baixos, sendo a posição do terço inferior a que apresentou a menor média da área ($0,01\text{b cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). O mesmo ocorreu quanto as profundidades de coleta, sendo as profundidades mais superficiais 0-10 e 10-20 cm as que apresentaram as menores médias do atributo ($0,01\text{b}$ e $0,02\text{b cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente).

Os teores de H^+ também foram relativamente baixos, sendo que a posição do terço inferior apresentou a maior média ($4,22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), o terço superior demonstrou média intermediária ($3,95 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e o terço médio da encosta menores valores ($3,81 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Nas profundidades de 0-10 e 10-20 as médias para o atributo foram as menores ($3,60\text{b}$ e $3,94\text{b cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) comparadas à profundidade de 20-40 cm ($4,46\text{a cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Esse fato corrobora com o pH do solo da área e pode estar relacionado com o tipo de manejo que foi abordado na área, já que a adição de adubo orgânico (no caso, esterco bovino) promove o aumento de cargas negativas (que aumenta o pH do solo) e reduz a toxicidade por Al^{3+} .

Ainda na Tabela 4.1, observa-se que a área de Agricultura apresentou Saturação Por Alumínio trocável (m) muito pequena, sendo a posição do terço inferior da encosta que apresentou a menores valores percentuais ($0,47\text{b} \%$). Com relação as profundidades, às mais superficiais apresentaram os menores valores ($0,62\text{b}$ e $0,70\text{b} \%$ em 0-10 e 10-20 cm, concomitantemente). Esses resultados se assimilam aos encontrados por Almeida (2013), em perfis de Argissolos sob o cultivo de banana.

Na mesma tabela, observa-se que os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+ , não diferiram entre as posições na encosta, diferentemente do K^+ que apresentou valores médios significativamente menores na posição do terço médio da encosta ($0,16\text{b cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) que nas demais posições. Quanto às profundidades, os valores para os cátions Ca^{2+} e Mg^{2+} não diferiram. Entretanto, os teores de K^+ foram mais evidentes na profundidade de 0-10 cm ($0,22\text{a cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) que nas demais profundidades. Os teores médios de Na^+ foram mais evidentes nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm ($0,15\text{a}$ e $0,15\text{a cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente), seguido da profundidade 20-40 cm ($0,14\text{b cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Essas variações não representaram diferença na soma de bases do solo (S), que apresentou médias significativamente semelhantes em todas as posições na encosta desta área e em todas as profundidades.

Foi observada uma maior Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0 – $CTC_{pH7,0}$ (Valor T) na posição do terço inferior da encosta (6,77a $cmol_c\ dm^{-3}$), seguido da posição do terço superior (6,24ab $cmol_c\ dm^{-3}$) e médio (6,13b $cmol_c\ dm^{-3}$). Referente a profundidade, o valor mais significativo foi observado na profundidade de 20-40 cm (6,83a $cmol_c\ dm^{-3}$), seguido da profundidade de 10-20 e 0-10 (6,35ab e 5,96b, respectivamente). De modo geral, os valores foram menores que 10 $cmol_c\ dm^{-3}$, sendo considerado por Fageria et al. (1999) e Fageria e Stone (2006) como CTC baixa.

Esse fato corrobora com mineralogia e com a classificação textural, já que solos tipicamente arenosos, com aporte considerável de minerais primários e minerais de argila do tipo 1:1, com baixa ou nenhuma atividade Caulinita (TROEH e THOMPSON, 2007), tendem a apresentar CTC relativamente baixa.

Coerentemente, o solo da área de Agricultura não apresentou diferença entre as posições na encosta no atributo Saturação por Bases (Valor V), esta foi observada apenas nas profundidades avaliadas, das quais a profundidade de 20-40 cm demonstrou os menores valores (33,88b %). Esses valores corroboram com a baixa capacidade de retenção de cátions (CTC) que o solo apresenta devido suas características físicas e mineralógicas. De um modo geral, segundo a classificação determinada pelo SiBCS (Embrapa, 2013), trata-se de um solo que apresenta caráter distrófico ($V < 50\%$), ou seja, apresenta baixa fertilidade.

Nota-se na mesma tabela, um aumento de P conforme segue a declividade da área (do terço Superior para o Inferior da encosta), sendo as posições de terço médio e inferior as que apresentaram as médias mais significativas da área (86,63a e 101,50a, respectivamente). Observa-se também que conforme aumenta-se a profundidade de coleta, os teores de P diminuem, porém não diferindo estatisticamente entre as profundidades (91,53a, 87,98a e 76,23a, respectivamente em 0-10, 10-20 e 20-40 cm).

Como o P é um macronutriente pouco móvel no solo e por não haver cobertura vegetal que satisfaça a proteção deste, pode ter ocorrido à desagregação e transporte de partículas, decorrentes da água da chuva com a formação de enxurrada, somada à declividade da encosta, trazendo-as em direção a sua parte mais baixa da encosta e, de certo modo, acumulando o nutriente. Simultaneamente pode ter ocorrido processo de lixiviação, dispondo-o também em quantidades relevantes nas maiores profundidades na área.

Pela Tabela 4.2 pode-se observar que os teores de SiO_2 foram maiores no terço médio da encosta. Enquanto que os de Al_2O_3 aumentaram conforme segue a declividade da encosta, tão como a profundidade de coleta. De certa forma, os teores de SiO_2 e Al_2O_3 corroboraram com a classificação textural da área, tão como com a mineralogia, pelo aporte de minerais primários, como o Quartzo, evidenciado na área.

Os valores de K_2O totais (Tabela 4.2) foram mais relevantes quando comparados com CaO e MgO . Contudo, quando relacionados aos atributos químicos, pode-se observar pela Tabela 4a que o álcali mais disponível é o Ca^{2+} na ordem de 1,67a a 1,96a $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$. Observa-se ainda que o CaO é mais abundante no Terço Superior da encosta do que nas demais posições, diferentemente quando consideramos os teores de Ca^{2+} que teve maiores valores na posição de Terço Inferior da encosta. Apesar disso, quando analisados em termos de profundidade, tanto os teores de óxidos totais quanto os atributos químicos apresentam comportamento parecidos.

Os teores de Fe_2O_3 foram notavelmente maiores no Terço Superior da encosta, independente da profundidade observada. Isso influenciou diretamente na relação $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$, que apresentou os menores valores para a mesma posição na encosta, avulsa da profundidade avaliada.

Na mesma tabela, observa-se que os teores de P_2O_5 são maiores em profundidades mais superficiais, bem como na posição de Terço Inferior. Tal comportamento foi similar quando analisado os atributos químicos da área.

Com relação aos constituintes menores, identificados na Tabela 4.2 como CM, os mesmos são basicamente formados por óxidos totais de TiO_2 , BaO , MnO , Rb_2O , SrO e ZrO_2 . Estes constituintes variaram entre teores de aproximadamente 3,13% a 9,77% na área de Agricultura, com os maiores teores encontrados na posição de Terço Superior, em todas as profundidades trabalhadas na pesquisa.

Com relação aos índice de intemperismo K_i , observa-se na Tabela 4.2 que a área demonstrou pouco intemperismo (solo jovem), demonstrando valores para o índice superiores a 2,0 (IBGE, 2007), corroborando com a mineralogia do solo (alto aporte de minerais primários, como Quartzo).

Tabela 4.1. Atributos físicos e químicos da área de Agricultura.

Posição na Encosta	Prof.	Composição Granulométrica			Rel. Silte/Arg.	Classificação textural	Densidade	
		Areia total	Silte	Argila			Solo	Part.
		cm	----- g Kg ⁻¹ -----				----- g cm ⁻³ -----	
Terço Superior	0 – 10	844	119	37	3,22	Areia Franca	1,65	-
Terço Médio	0 – 10	867	100	33	3,03	Areia	1,62	-
Terço Inferior	0 – 10	886	81	33	2,45	Areia	1,60	-
Terço Superior	10 – 20	888	84	28	3,00	Areia	1,60	-
Terço Médio	10 – 20	860	105	35	3,00	Areia	1,60	-
Terço Inferior	10 – 20	859	106	35	3,03	Areia Franca	1,57	-
Terço Superior	20 – 40	779	135	86	1,57	Areia Franca	1,55	-
Terço Médio	20 – 40	851	99	50	1,98	Areia Franca	1,56	-
Terço Inferior	20 – 40	859	102	39	2,62	Areia Franca	1,54	-

Posição na Encosta	pH	Complexo Sortivo									Valor V	Sat. por Al (m)	P
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	Valor T				
		Água	KCl	----- cmolc dm ⁻³ -----							----- % -----	mg dm ⁻³	
Terço Superior	-	5,1b	1,67a	0,24a	0,19a	0,15a	2,25a	0,02a	3,95ab	6,24ab	35,93a	1,15a	67,01b
Terço Médio	-	5,2b	1,82a	0,17a	0,16b	0,15a	2,29a	0,02a	3,81b	6,13b	37,34a	0,97a	86,63a
Terço Inferior	-	5,5a	1,96a	0,24a	0,18a	0,15a	2,53a	0,01b	4,22a	6,77a	37,66a	0,47b	101,50a

Profundidade													
0-10 cm	-	5,4a	1,80a	0,18a	0,22a	0,15ab	2,35a	0,01b	3,60b	5,96b	39,27a	0,62b	91,53a
10-20 cm	-	5,3a	1,83a	0,26a	0,16b	0,15a	2,40a	0,02b	3,94b	6,35ab	37,76a	0,70b	87,38a
20-40 cm	-	5,0b	1,83a	0,22a	0,15b	0,14b	2,34a	0,03a	4,46a	6,83a	33,88b	1,26a	76,23a

Obs.: Médias seguidas de mesma letra são semelhantes para o Teste Tukey a 5,0% de probabilidade.

Tabela 4.2. Atributos químicos totais por Fluorescência de Raios-X para a área de Agricultura.

Tabela 2.2. Percentuais químicos totais por Fluorescência de Raios-X para a área de Higienização.													
Posição	Prof.	Fluorescência de Raios-X									Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	CM*			
		cm	----- % -----										
Terço Superior	0 – 10	58,27	12,97	8,91	6,77	2,06	1,06	0,38	1,02	8,56	7,64	5,73	1,92
Terço Médio	0 – 10	70,85	17,19	5,13	1,96	0,74	0,17	0,35	0,12	3,49	7,01	6,53	8,77
Terço Inferior	0 – 10	69,06	18,90	5,05	2,00	0,85	0,20	0,45	0,14	3,35	6,21	5,82	9,45
Terço Superior	10 – 20	59,02	12,13	10,11	6,35	1,65	0,21	0,34	1,02	9,17	8,27	6,20	1,91
Terço Médio	10 – 20	70,19	18,24	5,20	1,81	0,71	0,16	0,34	0,10	3,25	6,54	6,15	10,08
Terço Inferior	10 – 20	69,92	18,38	5,12	1,83	0,81	0,18	0,42	0,12	3,22	6,47	6,08	10,04
Terço Superior	20 – 40	56,40	13,84	8,94	7,16	1,73	0,85	0,29	1,03	9,77	6,93	5,21	1,93
Terço Médio	20 – 40	69,20	19,73	4,89	1,89	0,64	0,15	0,30	0,07	3,13	5,96	5,62	10,44
Terço Inferior	20 – 40	69,09	19,76	4,97	1,79	0,62	0,16	0,36	0,08	3,17	5,94	5,62	11,04

Legenda: CM*: Constituintes menores (TiO₂, BaO, MnO, Rb₂O, SrO e ZrO₂).

4.2. Área de Mata

4.2.1. Caracterização do Relevo

De acordo com o SiBCS (Embrapa, 2013), a encosta foi avaliada e classificada quanto a sua declividade. A Tabela 5 apresenta a classificação para a área de Mata.

Tabela 5: Classificação do relevo da Área de Mata.

Área de estudo	Declividade média (%)	Classificação do relevo da área
Mata	60,0	Montanhoso

Essa declividade terá grande influência na caracterização dos solos, e irá contribuir para o entendimento dos processos de lixiviação e fixação dos minerais em cada área.

4.2.2. Caracterização Mineralógica dos Solos.

Os difratogramas de Raios-X obtidos para o cultivo da Área de Mata nas posições Terço Superior, Terço Médio e Terço Inferior, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, estão apresentados nas Figuras 20 a 22. A composição mineralógica da Área de Mata mostrou-se bastante homogênea, com predomínio de Caulinita (Ct) e Quartzo (Qz) em todos os pontos coletados e traços de Goetita (Gt) no terço inferior, conforme a Tabela 6 sumariza as fases encontradas em cada posição. Do mesmo modo, Giarola et al. (2009) Silva (2012) observaram o predomínio de Caulinita em seus estudos.

Tabela 6: Fases mineralógicas encontradas nos solos de mata.

Posição na Encosta	Prof.	Minerais
Terço Superior	0 – 10 cm	Quartzo e Caulinita
Terço Médio	0 – 10 cm	
Terço Inferior	0 – 10 cm	
Terço Superior	10 – 20 cm	Quartzo e Caulinita
Terço Médio	10 – 20 cm	
Terço Inferior	10 – 20 cm	
Terço Superior	20 – 40 cm	Quartzo e Caulinita
Terço Médio	20 – 40 cm	
Terço Inferior	20 – 40 cm	Quartzo, Caulinita e Goetita

Pode-se observar pelos difratogramas alterações nos teores de quartzo em relação as profundidades do solo como também em relação aos pontos amostrais. Para a área estudada, foi observada abundância de picos nos difratogramas para o mineral caulinita

(Ct). Este, juntamente com os óxidos de Fe e Al, é o principal argilomineral presente em solos tropicais e subtropicais (MARTINS, 2009) e, por isso, não ocorreu grandes alterações desse mineral ao longo do aumento das profundidades. Contudo, apenas uma análise quantitativa poderá especificar detalhadamente estes teores.

De forma geral, o solo de Mata preserva suas propriedades mineralógicas, independente dos pontos de coleta. Esse resultado confirma os resultados obtidos por outros autores, bem como o esperado nesta pesquisa.

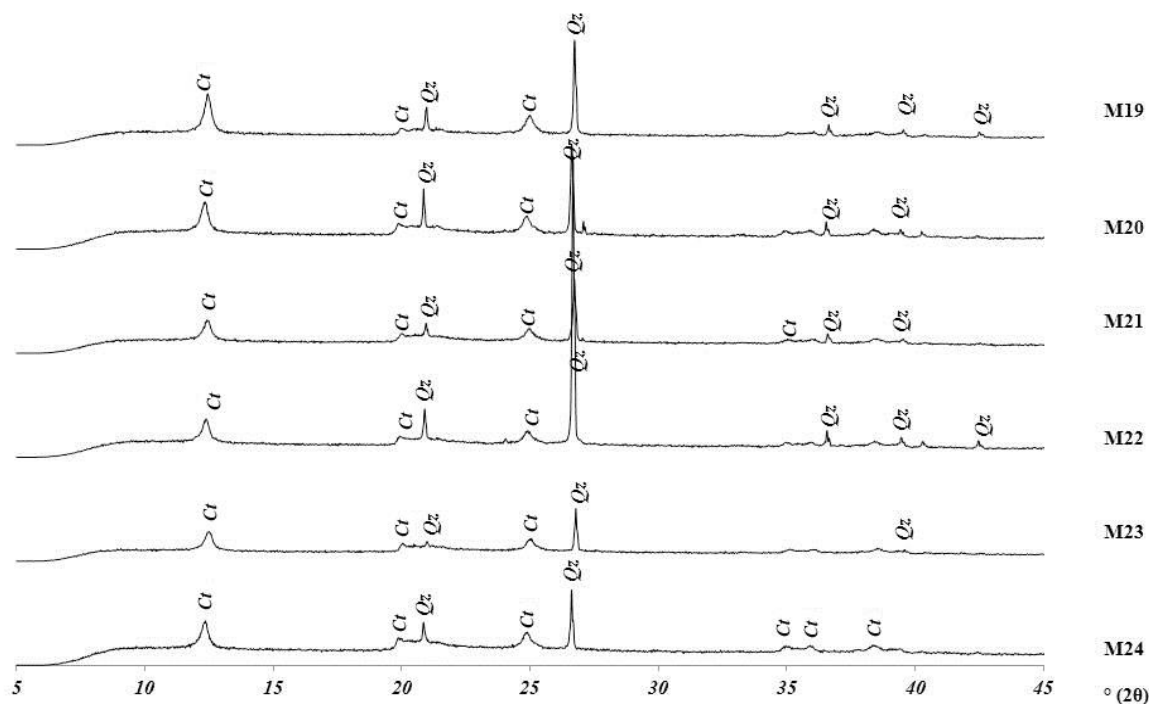


Figura 20: Difratogramas das amostras da Área de Mata (0-10 cm), onde M19 e M20 refere-se as posições de Terço Superior, M21 e M22 Terço Médio e M23 e M24 Terço Inferior, respectivamente.

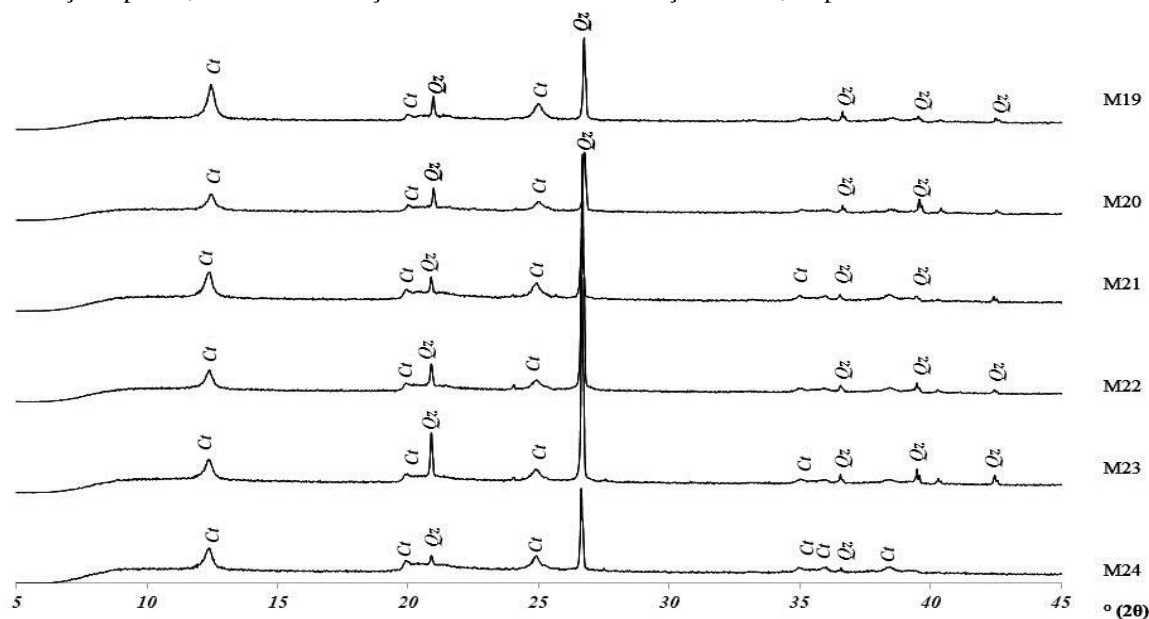


Figura 21: Difratogramas das amostras da Área de Mata (10-20 cm), onde M19 e M20 refere-se as posições de Terço Superior, M21 e M22 Terço Médio e M23 e M24 Terço Inferior, respectivamente.

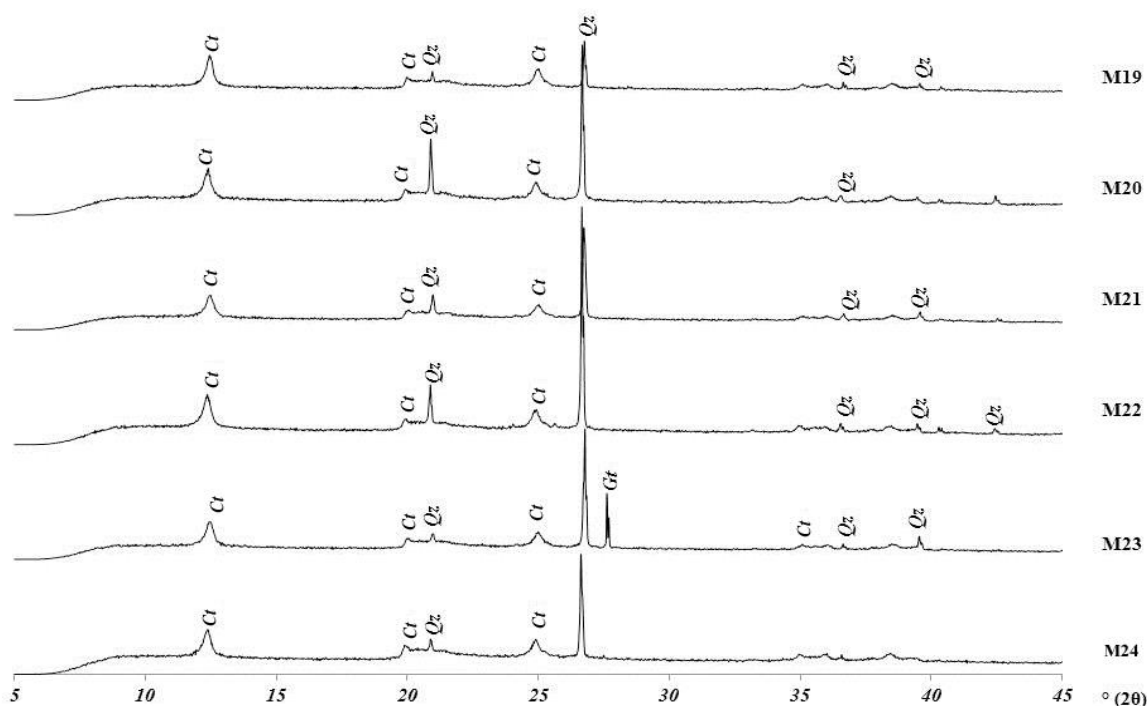


Figura 22: Difratomogramas das amostras da Área de Mata (20-40 cm), onde M19 e M20 refere-se às posições de Terço Superior, M21 e M22 Terço Médio e M23 e M24 Terço Inferior, respectivamente.

4.2.3. Caracterização Física e Química dos Solos.

A Tabela 7.1 apresenta os atributos físicos e químicos avaliados na área de Mata. A área de Mata apresentou valores de densidade menores que a área de Agricultura. Nota-se na Tabela 7.1 que ocorre um leve aumento da densidade conforme aumenta-se a profundidade de coleta e no sentido da declividade da encosta (do terço Superior para o Inferior).

Os valores de Areia, Silte e Argila pouco diferiram ou tiveram efeito relativo à posição na encosta, sendo a posição do terço Inferior à que apresentou maiores teores de Areia (539, 509 e 503 g Kg⁻¹, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-40 cm, respectivamente) e menores de Argila (389, 404 e 414 g Kg⁻¹, nas mesmas profundidades), porém não contrastando na classificação textural do solo.

Segundo a classificação descrita em Santos et al. (2005), o solo dessa área possui textura que varia de Argilosa a Argilo-arenosa, sendo essa mais presente em todas as profundidades do terço Inferior da encosta. De modo geral, Klein (2008) determina que teores de argila superiores a 35% designam um solo pesado, com textura argilosa.

De acordo com a Tabela 7.1, as amostras da área de Mata apresentaram acidez considerável (valores de pH > 4,0), porém que não diferiram quanto a posição na encosta, mas contrastando quanto a profundidade de coleta, sendo a profundidade de 0-10 cm a que

apresentou menores valores de pH (3,5c), tornando-se mais alcalino conforme aumenta-se a profundidade de coleta (3,7b e 3,8a, respectivamente em 10-20 e 20-40 cm).

Essa acidez corrobora com os teores de Al^{3+} e H^+ (Tabela 4a) que também não diferiram quanto a posição na encosta. Entretanto, quanto as profundidades analisadas, os maiores teores de Al^{3+} foram observados nas profundidades mais superficiais do solo (3,21a e 3,20a, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, concomitantemente). Os teores de H^+ também variaram quanto a profundidade, sendo a de 10-20 cm que apresentou os maiores valores para o atributo químico ($15,93\text{a cmol}_\text{c}\text{dm}^{-3}$). Esses resultados são similares aos encontrados por Xavier (2013), em uma área não antropizada com Latossolo Amarelo.

A área de Mata apresentou os maiores valores para Saturação por Alumínio (m) das três áreas avaliadas (Tabela 7.1). Com relação as posições na encosta, não houve diferença entre as amostras avaliadas. Entretanto, conforme a Tabela 7.1, nota-se que as profundidades de 10-20 e 20-40 cm apresentaram os maiores valores para o atributo avaliado (76,96a e 75,51a, respectivamente).

Os teores dos álcalis Ca^{2+} e Mg^{2+} (Tabela 7a) foram maiores que os de K^+ , mas não diferiram quanto a posição no relevo. Quanto a profundidade de coleta, os maiores teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} foram verificados na profundidade de 0-10 (0,57a e 0,54a $\text{cmol}_\text{c}\text{dm}^{-3}$, respectivamente). As amostras do terço Médio e Inferior da encosta apresentaram maiores teores de K^+ (respectivamente, 0,20a e 0,18a $\text{cmol}_\text{c}\text{dm}^{-3}$) e, do mesmo modo, foi mais evidente na profundidade de 0-10 cm (0,20a $\text{cmol}_\text{c}\text{dm}^{-3}$).

Diferentemente dos demais álcalis, os teores maiores de Na^+ foram observados na posição do terço Médio da encosta, no entanto, quanto as profundidades avaliadas, não houve diferença nos teores de Na^+ . Esses teores influenciaram na Soma de Bases (S) que, quanto a posição na encosta, foi mais evidenciado significativamente no terço Médio ($1,31\text{a cmol}_\text{c}\text{dm}^{-3}$) e, ao mesmo tempo, na profundidade 0-10 cm ($1,51\text{a cmol}_\text{c}\text{dm}^{-3}$).

Além disso, os valores da $\text{CTC}_{\text{pH}7,0}$ (Valor T) foram mais elevados para essa área que para a área de Agricultura. Seus teores foram semelhantes para todas posições na encosta (19,40a, 19,69a e 19,02a $\text{cmol}_\text{c}\text{dm}^{-3}$, simultaneamente para o terço Superior, Médio e Inferior), tão como para as profundidades mais superficiais, 0-10 e 10-20 cm (20,14a e 20,08a $\text{cmol}_\text{c}\text{dm}^{-3}$, respectivamente). Mesmo em condições de declividade elevada, isso pode ter ocorrido devido o aporte de material orgânico, em diversos estágios de decomposição, contribuindo para a o aumento do atributo.

Apesar de ter apresentado valores menores que as áreas de Agricultura e Pastagem (Tabelas 4.1 e 10.1), na área de Mata a Saturação por Bases (Valor V) não diferiu quanto as posições no relevo, no entanto foi identificada com maior significância na profundidade

de 0-10 cm (7,50a %). De modo geral, conforme a classificação distinta pelo SiBCS (Embrapa, 2013), esse solo pode ser considerado distrófico ($V < 50\%$) nas profundidades avaliadas, ou seja, apresenta baixa fertilidade.

Normalmente, áreas de mata preservada em regiões tropicais apresentam acidez elevada devido a formação de ácidos orgânicos promovida pela adição de matéria orgânica pela vegetação. Isso corrobora com as afirmações propostas por Troeh e Tompson (2007), pois esse processo aumenta a CTC do solo, porém reduz a porcentagem de saturação por bases (Valor V) e pH do solo.

Na mesma Tabela 7.1, foi observado que os valores de P na área de Mata foram inferiores às demais áreas avaliadas. De modo geral, não foi evidenciada influência da posição do relevo nessa área, sendo a posição do terço Médio da encosta onde nota-se os maiores valores ($10,58a \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$), seguido do terço Inferior ($10,20ab \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$) e do terço Superior ($9,73b \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$). Adiante, na profundidade de 0-10 cm notam os maiores teores ($10,62a \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$), diminuindo conforme aumenta-se a profundidade ($10,21ab$ e $9,69b \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$, em 10-20 e 20-40 cm, simultaneamente). Provavelmente, a proteção do solo e retenção de umidade advinda do material orgânico, contribuiu para que o nutriente fosse identificado em quantidades relativamente menores em profundidades mais elevadas e, desse modo, comprovando a redução nos processos de lixiviação do nutriente para a área.

A Tabela 7.2 apresentam os teores de óxidos totais encontrados na área de mata. Com relação aos constituintes menores, identificados na Tabela de 7.2 como CM, os mesmos são basicamente formados por TiO_2 , BaO , MnO , Rb_2O , SrO e ZrO_2 . Como podem ser observados pelas Tabelas 4b, 7b e 10b, os menores teores de CM foram obtidos para as Áreas de Mata, com valores variando de 1,35 a 1,97% apenas. Esses resultados são compatíveis para solos classificados como do tipo argilosos e argilo-arenosos (Embrapa, 2013).

Pela Tabela 7.2 pode-se observar, na área de Mata, teores maiores de Al_2O_3 quando comparados as áreas de Agricultura e Pastagem (Tabelas 4.2 e 10.2). Isto é corroborado pelos atributos químicos da área onde foram obtidos valores de Al^{+3} na ordem de 2,60 a $3,21 \text{ cmol}_c\text{dm}^{-3}$. Pode-se observar, ainda, menores teores de P_2O_5 nesta área quando comparadas as demais. Isto pode ser devido a área de agricultura apresentar adubações orgânicas e de SFS e a área de Pastagem o trânsito de animais na área com possíveis restos orgânicos.

Os teores de K_2O , CaO e MgO (Tabela 7.2) foram menores que os identificados na área de Agricultura, o que corrobora com as análises químicas realizadas para a área de

Mata. E m relação as posições na encosta os teores foram bem próximos, para cada óxido e o mesmo comportamento foi observado em relação às profundidades avaliadas.

Ainda que o solo tenha demonstrado um aporte maior de minerais de argila (Caulinita), com relação ao índice de intemperismo do solo (Ki), nota-se que a área apresenta-se pouco intemperizada, com índices maiores que 2,0 (IBGE, 2007).

Tabela 7.1. Atributos físicos e químicos da área de Mata.

Posição na Encosta	Prof.	Composição Granulométrica			Rel. Silte/Arg.	Classificação textural	Densidade	
		Areia total	Silte	Argila			Solo	Part.
		cm	----- g Kg ⁻¹ -----				----- g cm ⁻³ -----	
Terço Superior	0 – 10	411	137	452	0,30	Argila	1,09	-
Terço Médio	0 – 10	465	87	448	0,19	Argilo Arenosa	1,13	-
Terço Inferior	0 – 10	539	72	389	0,19	Argilo Arenosa	1,15	-
Terço Superior	10 – 20	439	112	449	0,25	Argila	1,17	-
Terço Médio	10 – 20	435	113	452	0,25	Argila	1,17	-
Terço Inferior	10 – 20	509	87	404	0,22	Argilo Arenosa	1,19	-
Terço Superior	20 – 40	423	110	467	0,24	Argila	1,16	-
Terço Médio	20 – 40	419	111	470	0,24	Argila	1,19	-
Terço Inferior	20 – 40	503	83	414	0,20	Argilo Arenosa	1,19	-

Posição na Encosta	pH	Complexo Sortivo									Valor V	Sat. por Al (m)	P
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	Valor T				
		Água	KCl	----- cmolc dm ⁻³ -----							----- % -----		mg dm ⁻³
Terço Superior	-	3,7a	0,29a	0,37a	0,14b	0,19b	0,99b	3,03a	15,37a	19,40a	5,18a	75,33a	9,73b
Terço Médio	-	3,7a	0,53a	0,37a	0,20a	0,20a	1,31a	2,81a	15,56a	19,69a	6,48a	69,13a	10,58a
Terço Inferior	-	3,7a	0,28a	0,33a	0,19a	0,19b	1,00b	3,17a	14,85a	19,02a	5,29a	75,92a	10,20ab

Profundidade													
0-10 cm	-	3,5c	0,57a	0,54a	0,20a	0,19a	1,51a	3,21a	15,42ab	20,14a	7,50a	67,90b	10,62a
10-20 cm	-	3,7b	0,32ab	0,25b	0,18ab	0,20a	0,96b	3,20a	15,93a	20,08a	4,73b	76,96a	10,21ab
20-40 cm	-	3,8a	0,22b	0,28b	0,16b	0,19a	0,86b	2,60b	14,43b	17,88b	4,73b	75,51a	9,69b

Obs.: Médias seguidas de mesma letra são semelhantes para o Teste Tukey a 5,0% de probabilidade.

Tabela 7.2. Atributos químicos totais por Fluorescência de Raios-X para a área de Mata.

Posição	Prof.	Fluorescência de Raios-X									Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	CM*			
		cm	----- % -----										
Terço Superior	0 – 10	57,12	33,26	0,45	7,37	0,03	0,13	0,14	0,15	1,35	2,92	2,56	4,51
Terço Médio	0 – 10	57,54	32,54	0,48	7,13	0,02	0,17	0,16	0,10	1,86	3,01	2,64	4,56
Terço Inferior	0 – 10	56,97	33,12	0,46	7,12	0,02	0,12	0,16	0,09	1,94	2,92	2,57	4,65
Terço Superior	10 – 20	57,20	33,42	0,44	7,16	0,03	0,12	0,12	0,14	1,37	2,91	2,56	4,67
Terço Médio	10 – 20	57,32	33,13	0,42	7,24	0,02	0,11	0,13	0,14	1,49	2,94	2,58	4,58
Terço Inferior	10 – 20	56,99	33,07	0,45	7,15	0,01	0,11	0,12	0,13	1,97	2,93	2,57	4,63
Terço Superior	20 – 40	53,33	36,44	0,42	7,87	0,02	0,12	0,12	0,13	1,55	2,49	2,19	4,63
Terço Médio	20 – 40	54,44	35,14	0,44	7,65	0,03	0,11	0,13	0,15	1,91	2,63	2,31	4,59
Terço Inferior	20 – 40	54,12	36,25	0,43	7,32	0,02	0,11	0,12	0,12	1,51	2,54	2,25	4,95

Legenda: CM*: Constituintes menores (TiO₂, BaO, MnO, Rb₂O, SrO e ZrO₂).

4.3. Área de Pastagem

4.3.1. Caracterização do Relevo

De acordo com o SiBCS (Embrapa, 2013), a encosta foi avaliada e classificada segundo sua declividade. A Tabela 8 apresenta a classificação para a área de Pastagem.

Tabela 8: Classificação do relevo da Área de Pastagem.

Área de estudo	Declividade média (%)	Classificação do relevo da área
Pastagem	25,0	Forte Ondulado

Essa declividade terá grande influência na caracterização dos solos, e irá contribuir para o entendimento dos processos de lixiviação e fixação dos minerais em cada área.

4.3.2. Caracterização Mineralógica dos Solos.

Os difratogramas de Raios-X obtidos para o cultivo da Área de Pastagem nas posições Terço Superior, Terço Médio e Terço Inferior, nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, estão apresentados nas Figuras 23 a 31. Os minerais principais constituintes das amostras das áreas de agricultura são Quartzo (Qz), Caulinita (Ct); Feldspato (Fd) e Albita (Ab), sendo que a Goetita (Gt) está mais presente nas posições de Terço Superior e Terço Inferior, conforme a Tabela 9 que sumariza as fases encontradas em cada posição. Esse fato corrobora com o estudado por Carvalho et al. (2013), já que os principais minerais evidenciados também foram Quartzo e Caulinita.

Tabela 9: Fases mineralógicas encontradas nos solos de pastagem.

Posição na Encosta	Prof.	Minerais
Terço Superior	0 – 10 cm	Quartzo, Caulinita; Feldspato e Albita
Terço Médio	0 – 10 cm	Quartzo, Caulinita e Albita
Terço Inferior	0 – 10 cm	Quartzo, Caulinita; Feldspato e Albita
Terço Superior	10 – 20 cm	Quartzo, Caulinita; Feldspato, Albita e Goetita
Terço Médio	10 – 20 cm	Quartzo, Caulinita e Albita
Terço Inferior	10 – 20 cm	Quartzo, Caulinita; Feldspato, Albita e Goetita
Terço Superior	20 – 40 cm	
Terço Médio	20 – 40 cm	
Terço Inferior	20 – 40 cm	

Pelos difratogramas apresentados nas Figuras de 23 a 31 pode-se observar que da mesma forma que na área de Agricultura, o Quartzo presente atua como fonte de sílica

mantendo a alta atividade de silício no meio e, consequentemente, favorecendo a formação da caulinita (LEPSCH et al., 1977; LINDSAY, 1979; FURIAN et al., 2002). O feldspato aparece em menores proporções quando comparadas as áreas de agricultura. Observa-se ainda que o Quartzo e a Caulinita são predominante nessa área, confirmando os resultados de classificação textural do solo e de teores de óxidos totais.

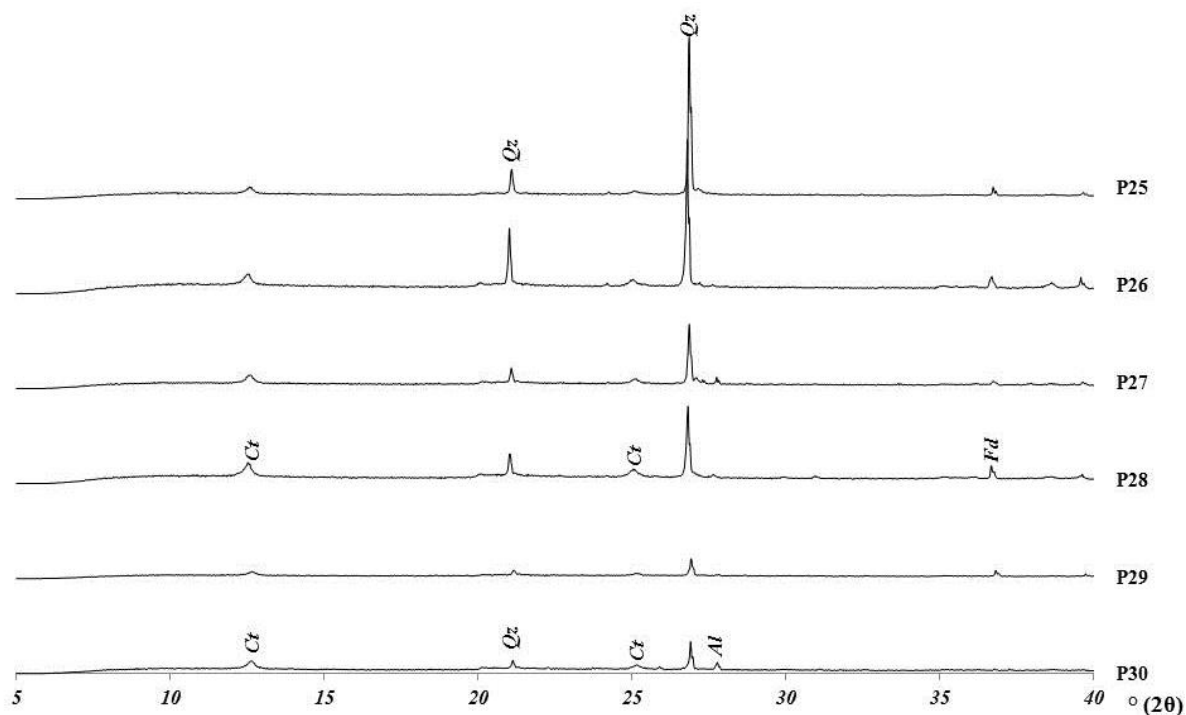


Figura 23: Difratomogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Superior (0-10 cm).

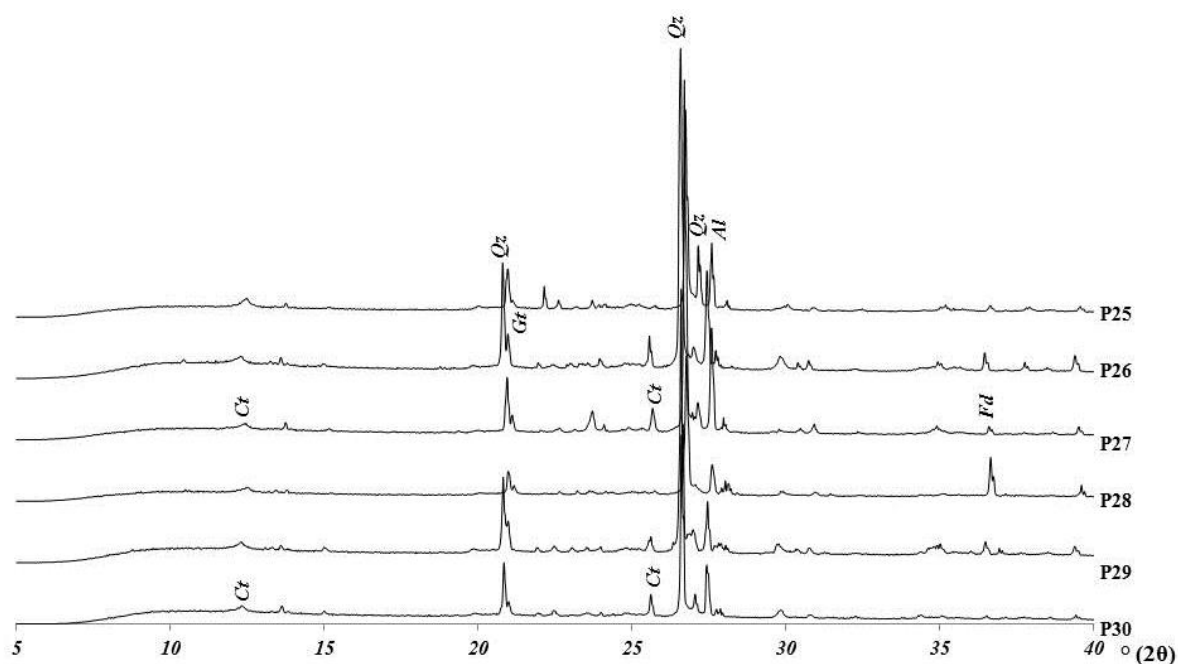


Figura 24: Difratomogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Superior (10-20 cm).

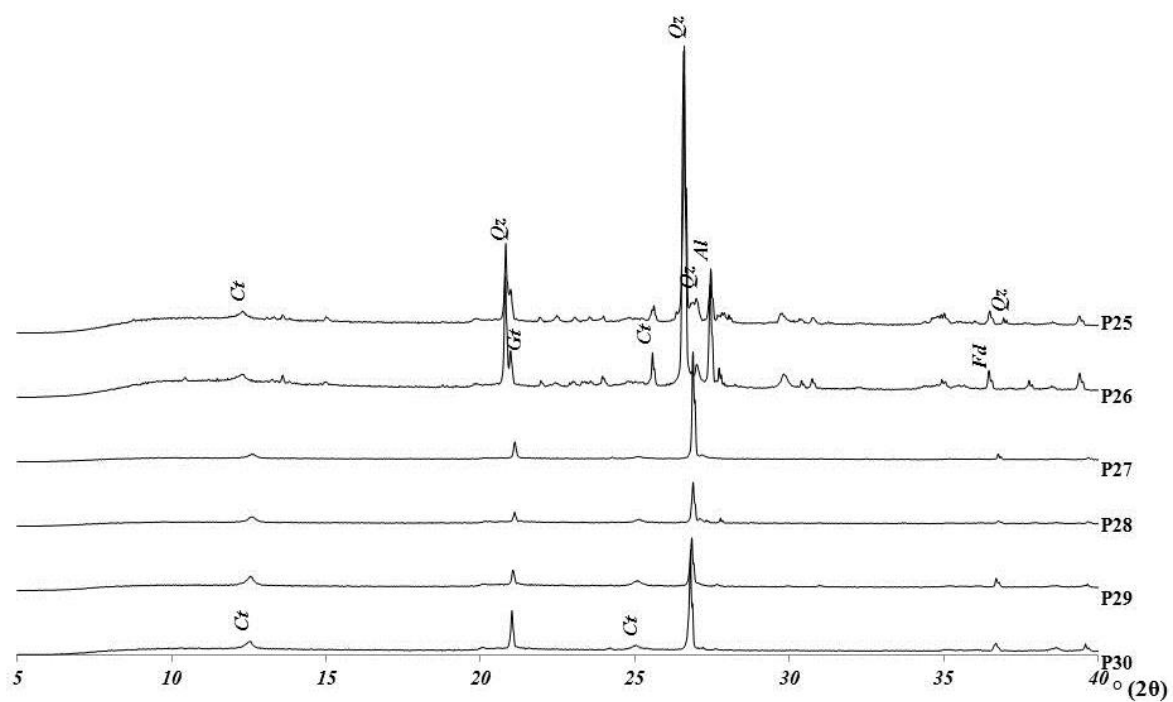


Figura 25: Difratomogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Superior (20-40 cm).

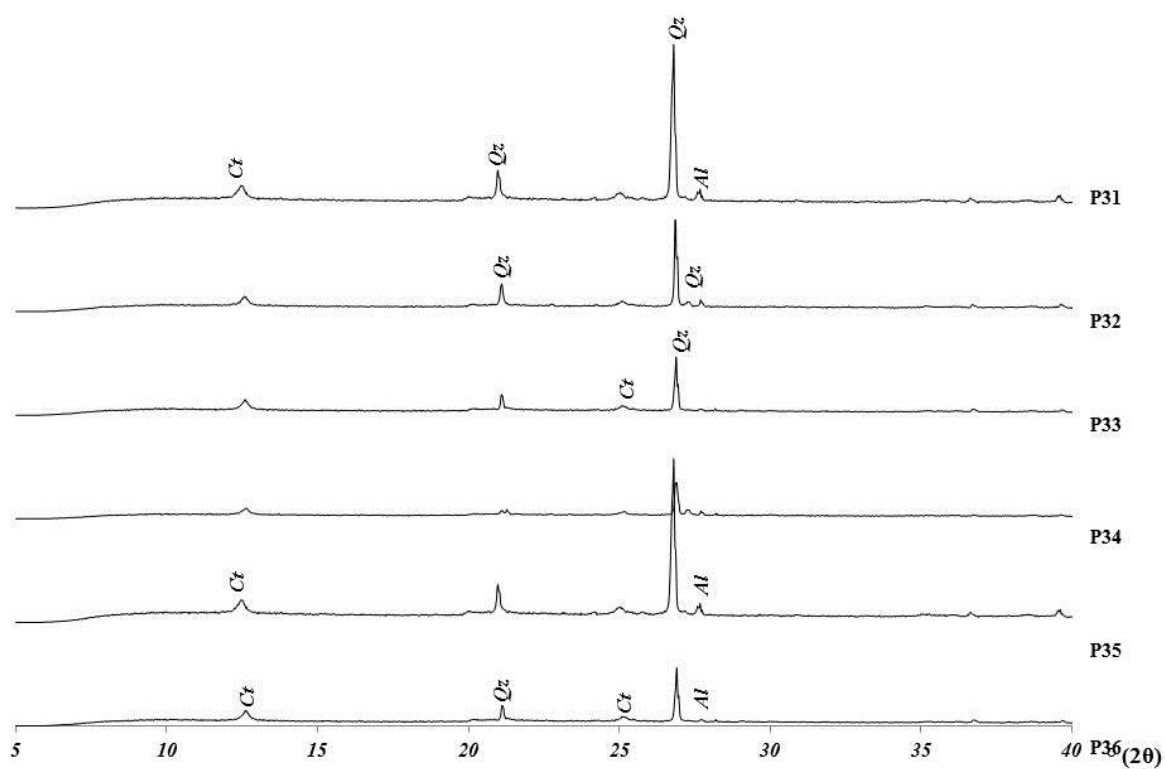


Figura 26: Difratomogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Médio (0-10 cm).

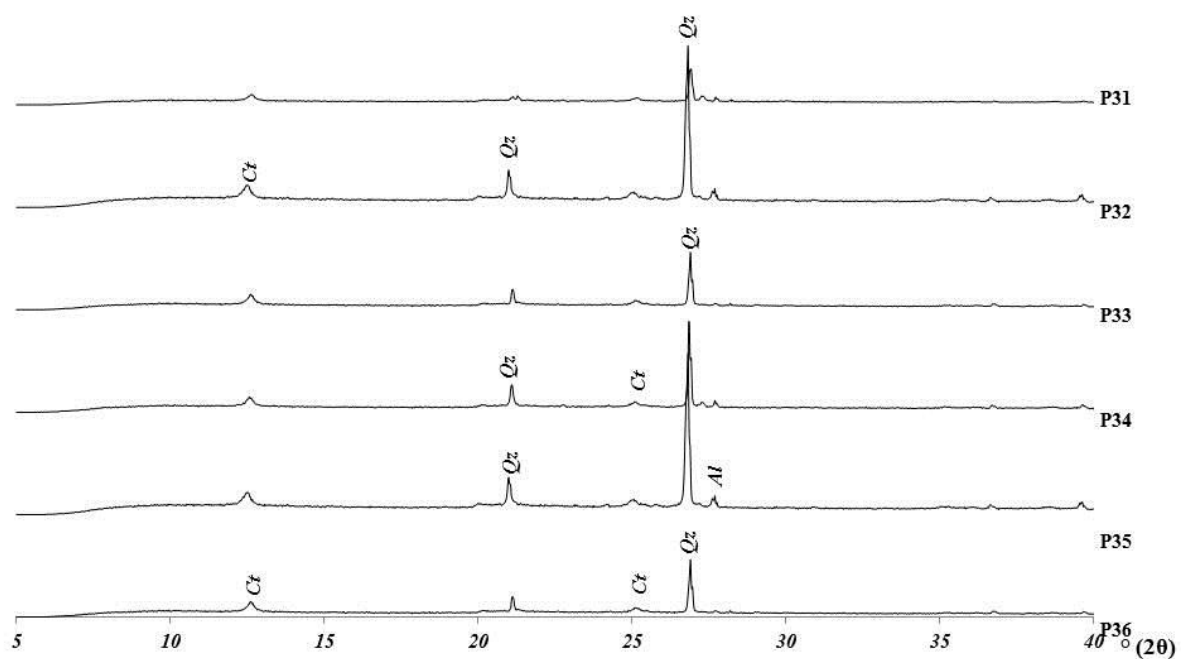


Figura 27: Difratomogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Médio (10-20 cm).

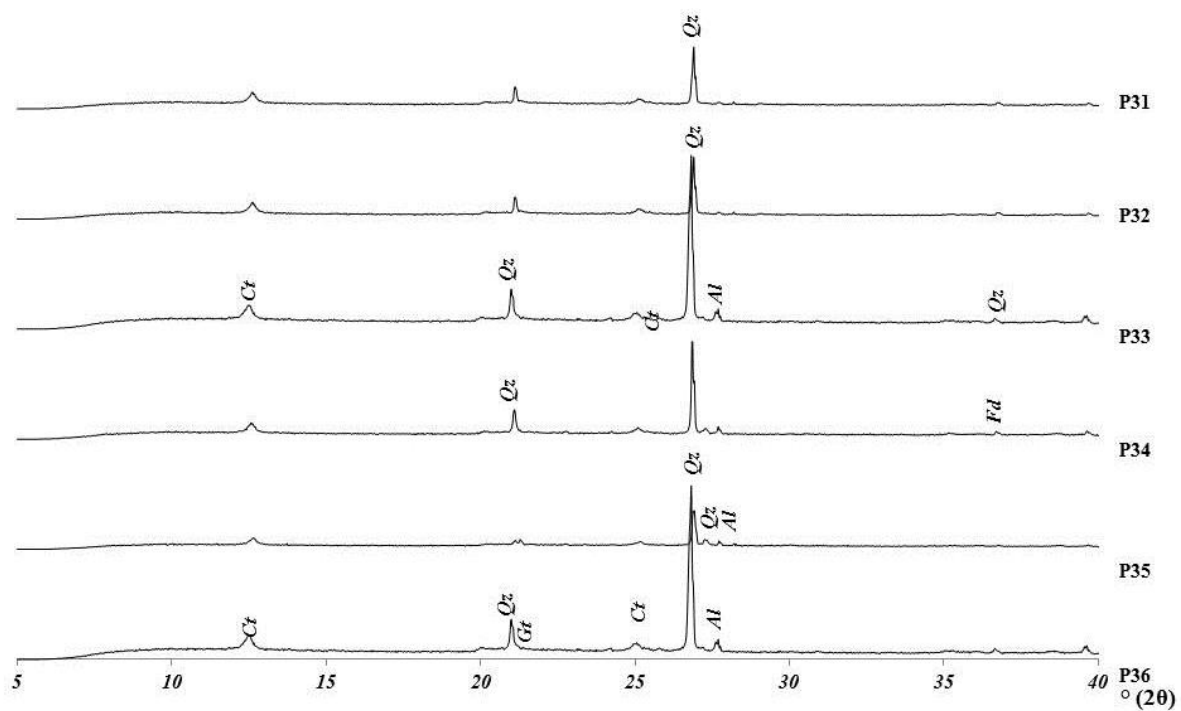


Figura 28: Difratomogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Médio (20-40 cm).

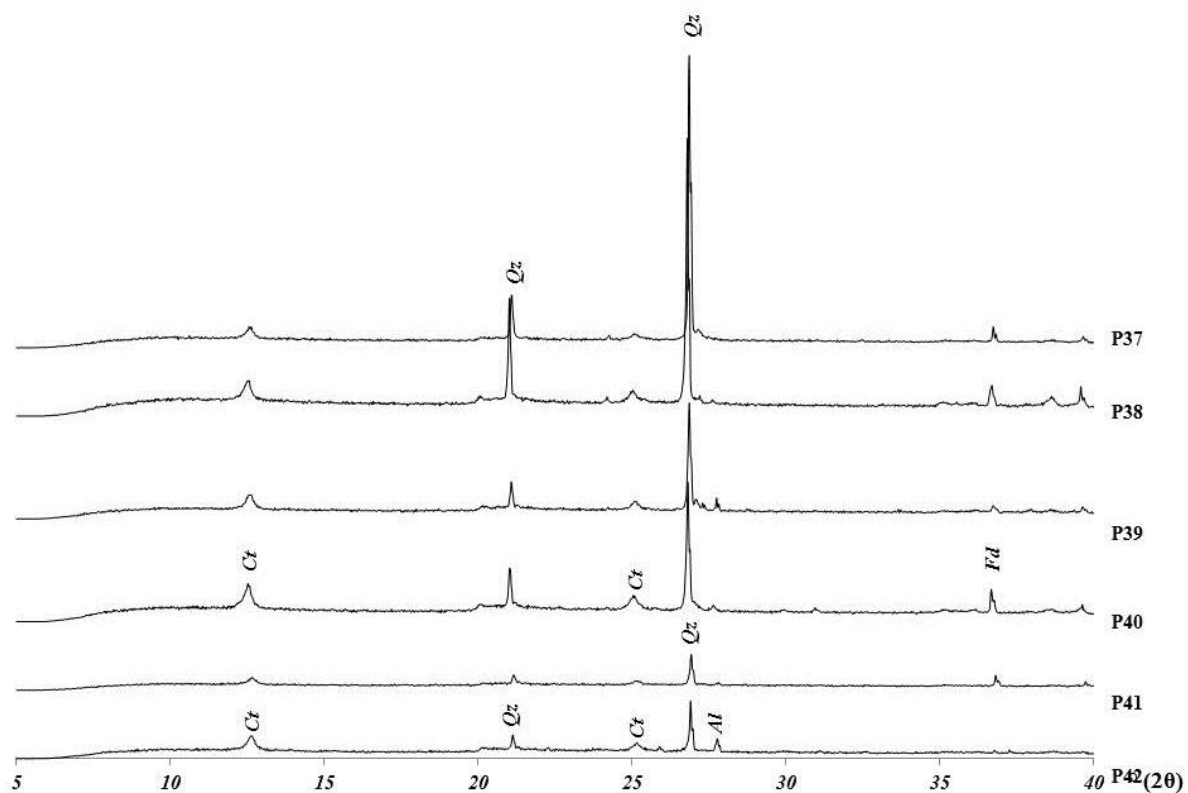


Figura 29: Difratomogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Inferior (0-10 cm).

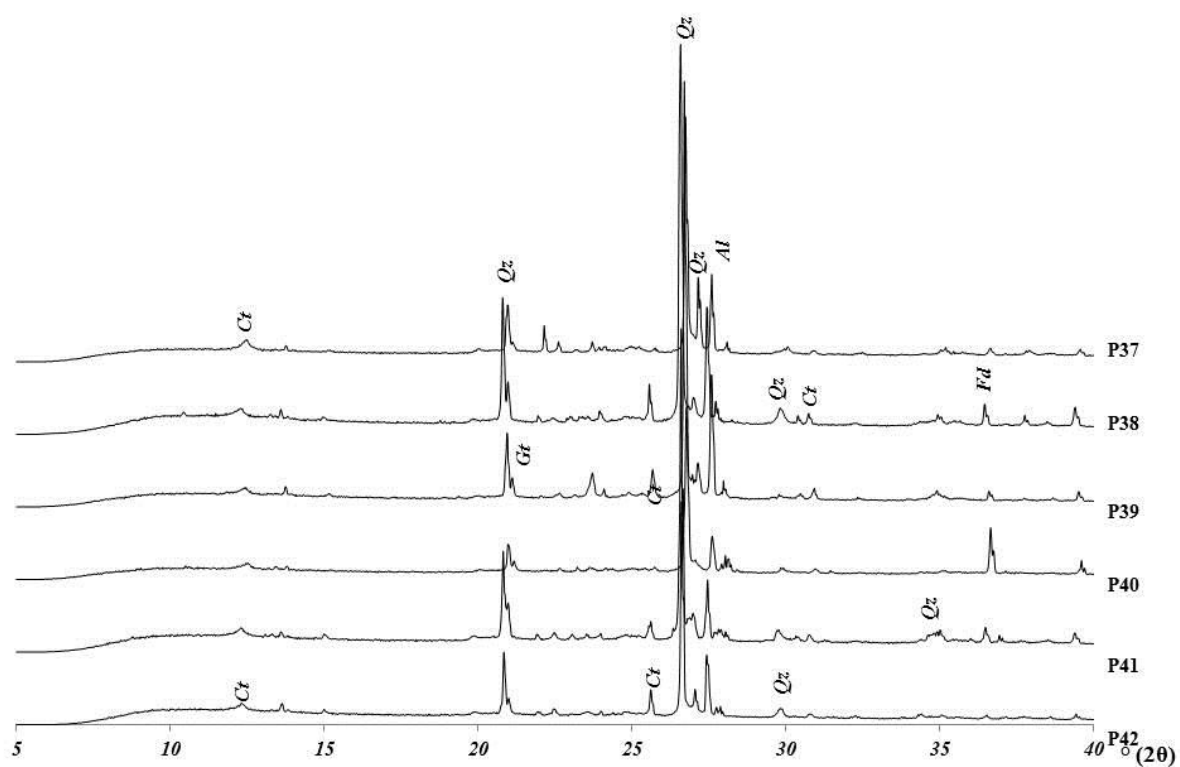


Figura 30: Difratomogramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Inferior (10-20 cm).

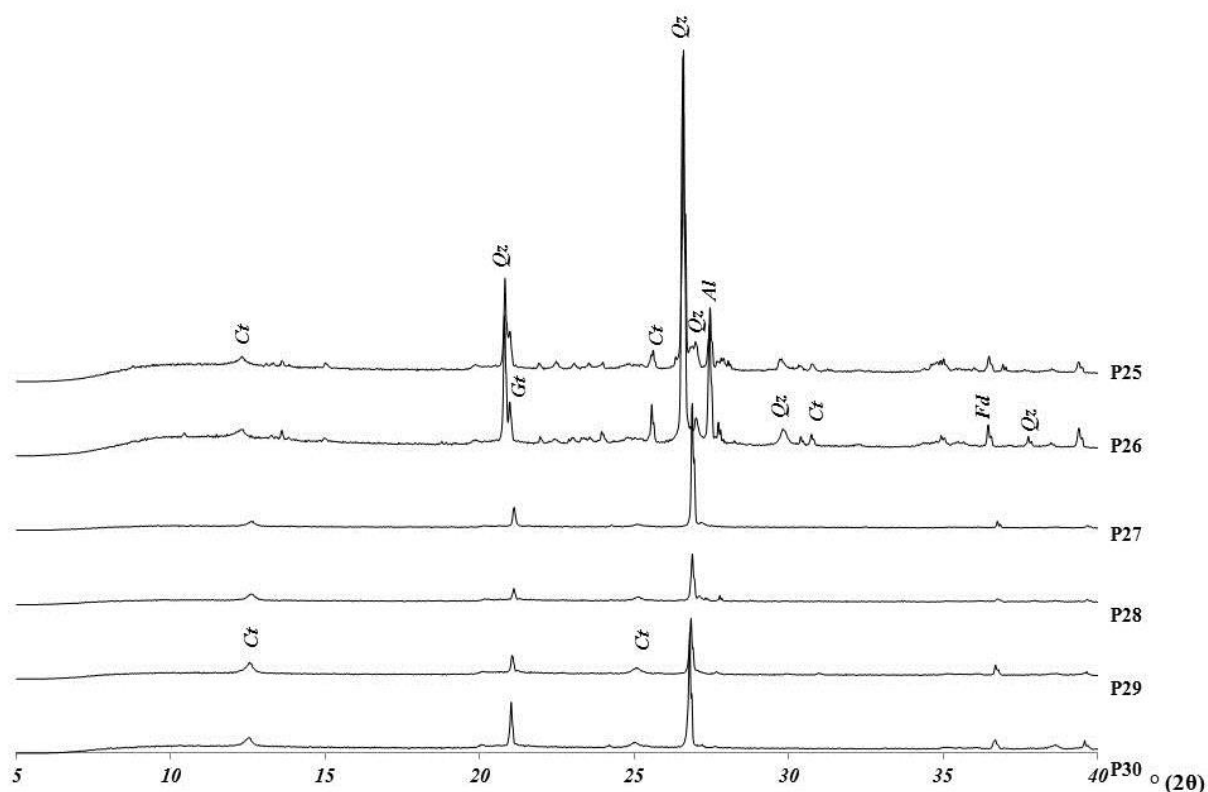


Figura 31: Difratoigramas das amostras da Área de Pastagem na Posição Terço Inferior (20-40 cm).

4.3.3. Caracterização Física e Química dos Solos.

A Tabela 10.1 apresenta os atributos físicos avaliados na área de Pastagem. Como pode ser observado que a área de Pastagem apresentou densidade variável sendo os menores valores identificados na posição de Terço Médio da encosta, nas três profundidades. Os teores de Areia da área de Pastagem tiveram um pequeno acréscimo conforme segue a declividade da área (do terço Superior para o Inferior da encosta), independente da profundidade avaliada.

Conforme Santos et al. (2005), os teores das frações indicam que a textura do solo é classificada como textura Franco Arenosa nas profundidades de 0–20 cm, variando à profundidade de 20–40 cm nas posições da encosta, sendo: Franco Argilo Arenoso, Franco Arenoso e Areia Franca, no Terço Superior, Terço Médio e Terço Inferior, respectivamente. De acordo com a classificação de Klein (2008), esse solo pode ser considerado, em sua maior parte, como um solo leve, de textura Arenosa, assim como o solo da área de Agricultura.

Ainda na Tabela 10.1 pode-se observar os atributos químicos da área de Pastagem. Nota-se que, nas amostras dessa área, o atributo pH demonstrou valores intermediários entre a área de Agricultura e a área de Mata, sendo as posições de terço Médio e Inferior da

encosta as que apresentaram mais alcalinidade (4,42a e 4,51a, respectivamente), tão como a profundidade de 0-10 cm (4,64a). Este fato discorda dos teores de Al^{3+} , H^+ e a Saturação por Al^{3+} (m), pois eles foram mais evidentes na posição do terço Superior (0,36a, 5,12a $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ e 26,13a %, respectivamente) e (exceto no atributo H^+ que não demonstrou diferença nas profundidades) nas profundidades de 10-20 e 20-40 cm (0,27a e 0,32a $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ para o Al^{3+} e 20,45a e 26,08a %, simultaneamente).

Conforme demonstrado na Tabela 10.1, os teores de Ca^{2+} e K^+ apresentaram o mesmo comportamento na área. Esses foram mais evidentes no terço Inferior da encosta (1,03a e 0,23a $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, respectivamente), assim como na profundidade de 0-10 cm (1,14a e 0,26a $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, simultaneamente). No local, pode ter ocorrido o que foi descrito por Troeh e Thompson (2007), em que relata que as plantas forrageiras (pastagens) tendem a utilizar mais bases em seu desenvolvimento e, por isso, depositam mais bases na superfície do solo. Esses fatos contribuíram para que a Soma de Bases (S) fosse mais evidente na posição de terço Inferior da encosta e na profundidade de 0-10 cm (1,67a e 1,89a $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$, respectivamente).

Os teores de Mg^{2+} não diferiram nas posições da encosta, entretanto foram mais evidentes na profundidade de 0-10 cm (0,29a $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$). Os teores de Na^+ foram semelhantes nas posições do terço Superior e Inferior da encosta (0,21a $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ em ambas posições), no entanto foram mais evidentes na profundidade de 20-40 cm (0,22 $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$).

Ainda na mesma Tabela 10.1, observa-se que o Valor T foi mais evidente na posição do terço Superior e na profundidade de 0-10 cm (6,58a e 6,25a $\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$). De um modo geral, a CTC para esse solo é baixa, o que corrobora com a classificação textural e a mineralogia do solo, assim como a área de Agricultura.

O os maiores valores para o Valor V foram identificados na posição de terço Inferior da encosta (28,69a %), seguido do terço Médio e Superior (13,98b e 16,60c %, respectivamente). Em relação as profundidades avaliadas, a de 0-10 cm foi a que demonstrou maiores teores para o atributo (29,83a %). Mesmo assim, conforme o SiBCS (Embrapa, 2013), assim como as demais áreas, trata-se de um solo com caráter distrófico ($V < 50\%$).

Pode-se observar na Tabela 10.1 que os teores mais elevados de P foram determinados na posição do terço Superior da encosta (43,10a mg dm^{-3}) e o atributo não diferiu quanto as profundidades avaliadas na área. Como o pasto possui uma cobertura do solo eficiente e favorece a agregação do solo, isso pode ter reduzido o problema de desagregação e transporte de partículas pelas enxurradas.

Além disso, o local de coleta (terço Superior) foi transitado por animais e pode possuir restos orgânicos, o que evidenciou tais quantidades elevadas de P em relação as demais posições na encosta. Schiavo et al. (2010) encontrou comportamento semelhante em solos derivados de Arenitos, relatando resíduos de adubação fosfatada.

A Tabela 10.2 apresentam os teores de óxidos totais encontrados na área de Pastagem. Com relação aos constituintes menores identificados como CM, os mesmos são basicamente formados por TiO_2 , BaO , MnO , Rb_2O , SrO e ZrO_2 . Pela Tabela 10b observa-se que os CM das amostras da área de Pastagem apresentam teores menos elevados quando comparados aos da área de Agricultura (Tabela 4.2) e maiores que os da área de Mata (Tabela 7.2). Pode-se observar ainda que os teores de Al_2O_3 são maiores que os da área de Agricultura e menores que os da área de Mata. Tais resultados são compatíveis com a classificação textural do solo, bem como com os atributos químicos observados nesta área.

Pode-se observar pela Tabela 10.2 que os teores de K_2O , P_2O_5 e SO_3 são mais próximos aos resultados da área de Agricultura (Tabela 4.2) do que aos da área de Mata (Tabela 7.2), como seria esperado, devido tanto ao tipo de cobertura do solo, ao transito de animais na área, a exposição da área a material orgânico e de adubação, bem como devido aos processos de intemperismo e lixiviação na área.

A as amostras da área de Pastagem, assim como as da área de Agricultura apresentou índices Ki superiores a 2,0 e, conforme descrito em IBGE (2007), o solo avaliado apresenta-se pouco intemperizado, corroborando com as análises mineralógicas e a classificação textural atribuída ao solo.

Tabela 10.1. Atributos físicos e químicos da área de Pastagem.

Posição na Encosta	Prof.	Composição Granulométrica			Rel. Silte/Arg.	Classificação textural	Densidade	
		Areia total	Silte	Argila			Solo	Part.
		cm	----- g Kg ⁻¹ -----				----- g cm ⁻³ -----	
Terço Superior	0 – 10	769	90	141	0,64	Franco Arenosa	1,41	-
Terço Médio	0 – 10	796	73	131	0,56	Franco Arenosa	1,35	-
Terço Inferior	0 – 10	812	80	108	0,74	Franco Arenosa	1,38	-
Terço Superior	10 – 20	736	79	185	0,43	Franco Arenosa	1,46	-
Terço Médio	10 – 20	785	88	127	0,69	Franco Arenosa	1,41	-
Terço Inferior	10 – 20	785	92	123	0,75	Franco Arenosa	1,46	-
Terço Superior	20 – 40	705	88	207	0,43	Franco Argilo Arenosa	1,47	-
Terço Médio	20 – 40	767	103	130	0,79	Franco Arenosa	1,43	-
Terço Inferior	20 – 40	810	106	84	1,26	Areia Franca	1,51	-

Posição na Encosta	pH	Complexo Sortivo									Valor V	Sat. por Al (m)	P
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	S	Al ³⁺	H ⁺	Valor T				
		Água	KCl	----- cmolc dm ⁻³ -----							----- % -----		mg dm ⁻³
Terço Superior	-	4,25b	0,48b	0,22a	0,19b	0,21a	1,10b	0,36a	5,12a	6,58a	16,60c	26,13a	43,10a
Terço Médio	-	4,42a	0,61b	0,21a	0,21ab	0,20b	1,23b	0,17b	4,12b	5,53b	21,97b	13,98b	11,84b
Terço Inferior	-	4,51a	1,03a	0,20a	0,23a	0,21a	1,67a	0,15b	3,60c	5,43b	28,69a	12,24b	17,89b

Profundidade													
0-10 cm	-	4,64a	1,14a	0,29a	0,26a	0,20c	1,89a	0,09b	4,25a	6,25a	29,83a	5,84b	27,11a
10-20 cm	-	4,29b	0,56b	0,20ab	0,20b	0,21b	1,17b	0,27a	4,31a	5,76b	20,36b	20,45a	23,83a
20-40 cm	-	4,24b	0,42b	0,14b	0,16c	0,22a	0,94b	0,32a	4,28a	5,54b	17,08c	26,08a	21,89a

Obs.: Médias seguidas de mesma letra são semelhantes para o Teste Tukey a 5,0% de probabilidade.

Tabela 10.2. Atributos químicos totais por Fluorescência de Raios-X para a área de Pastagem.

Posição	Prof.	Fluorescência de Raios-X									Ki	Kr	Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	CM*			
	cm	%											
Terço Superior	0 – 10	56,64	20,12	9,34	8,67	0,89	1,19	0,32	0,14	2,69	4,79	3,75	2,32
Terço Médio	0 – 10	56,22	19,56	9,50	7,99	0,78	0,25	0,30	0,13	5,27	4,89	3,88	2,45
Terço Inferior	0 – 10	55,96	19,12	9,57	8,12	0,77	0,22	0,29	0,13	5,82	4,98	3,92	2,35
Terço Superior	10 – 20	56,91	22,59	8,00	7,56	0,77	0,33	0,31	0,14	3,39	4,28	3,53	2,99
Terço Médio	10 – 20	56,02	20,85	7,89	8,24	0,69	0,22	0,29	0,12	5,68	4,57	3,65	2,53
Terço Inferior	10 – 20	55,52	19,02	7,97	8,15	0,61	0,21	0,28	0,13	8,11	4,96	3,90	2,33
Terço Superior	20 – 40	57,35	23,35	7,48	8,85	0,75	1,01	0,31	0,12	0,78	4,18	3,36	2,64
Terço Médio	20 – 40	55,99	20,82	7,61	8,46	0,69	0,21	0,22	0,11	5,89	4,57	3,63	2,46
Terço Inferior	20 – 40	55,87	19,05	8,01	8,34	0,58	0,22	0,21	0,10	7,62	4,99	3,90	2,28

Legenda: CM*: Constituintes menores (TiO₂, BaO, MnO, Rb₂O, SrO e ZrO₂).

5. CONCLUSÕES

As análises espectroscópicas (FRX e DRX) facilitaram o entendimento dos processos que ocorrem nos solos avaliados, além de possibilitarem novos estudos devido a não destruição das amostras durante o processo analítico.

O solo da área de Agricultura aparenta ser jovem, com presença constante de minerais primários como o Quartzo. Isso contribuiu para que suas características físicas ainda fossem preservadas. Entretanto, apesar de demonstrar maiores teores de nutrientes devido à adubação com SFS e adubo orgânico, não apresentava cobertura vegetal protegesse suficiente de agentes erosivos, como a incidência de chuvas.

Isso, somado à declividade da área, acarretou na susceptibilidade química, ocasionada provavelmente pela desagregação de partículas e carregamento de partículas do Terço Superior da área para o Terço Inferior. Como a declividade ainda é suave, o processo de lixiviação de nutrientes pode também ser verificado, principalmente com a presença de elevados teores de P nas maiores profundidades.

As amostras das áreas de Mata e Pastagem, mesmo pertencendo às declividades mais acentuadas, demonstraram mais estabilidade química em todas as posições do relevo e profundidades avaliadas que a área de Agricultura.

Desta forma, pode-se concluir que:

1. O comportamento físico dos solos de cada área, nos quesitos densidade aparente e textura do solo, não demonstraram ser influenciados pelo relevo da área, apenas pouca variação nas profundidades, porém não diferindo na classificação textural;
2. A influência do relevo foi verificada nos resultados das análises químicas dos solos, na área de Agricultura, principalmente nos teores de P, os quais tiveram maiores valores na posição de Terço Inferior, independente da profundidade.
3. Os resultados das análises químicas tradicionais corroboraram com os teores de óxidos totais de todas as áreas, sendo a área de Agricultura que demonstrou maior quantidade de nutrientes em comparação com as demais áreas avaliadas;
4. Os resultados de mineralogia corroboram os resultados encontrados nas demais técnicas, tais como a presença de minerais primários como Quartzo na área de agricultura.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base no que foi avaliado nesse trabalho podem ser realizadas as seguintes análises:

1. Análises referentes à influência da Matéria Orgânica (M. O.) de solos em áreas declivosas, já que nas áreas estudadas em que, aparentemente, havia maior acúmulo desta propriedade não sofreram tanta influência do relevo acidentado, mesmo em condições de declividade muito elevada;
2. Utilização de Espectroscopia de Infravermelho para avaliar as substâncias húmicas das áreas estudadas nesta pesquisa;
3. Avaliar o efeito do relevo nas propriedades dos solos via caracterização microestrutural por microscopia eletrônica de varredura.

7. REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, W. A. P.; MELLO, J. W. V. Fundamentos de pedologia e geologia de interesse no processo de recuperação de uma área degradada. In: DIAS, L. E.; MELLO, J. W. V. (Eds.). **Recuperação de áreas degradadas**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Sociedade Brasileiro de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.15-26.

ABREU JÚNIOR, C. H. et al. Métodos analíticos utilizados em química do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.) **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2009. v.2. cap. 21. p. 529-694.

AESA – AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA. Governo do Estado da Paraíba, Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente – SECTMA – Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba – PERH-PB, 2007.

ALBERS, A.P.F.; MELCHIADES, F.G.; MACHADO, R.; BALDO, J.B.; BOSCHI, A.O. Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X. **Cerâmica**, 48:34-37, 2002.

ALMEIDA, M. C. **Mineralogia de solos e sua relação com a fertilidade natural na transição mata-agreste norte do Estado de Pernambuco**. 2013. 138f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2013.

ALVES, M. E.; MASCARENHAS, Y. P.; VAZ, C. M. Comparação de procedimentos de quantificação de caulinita e gibbsita na fração argila desferrificada de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 569-577, 2008.

BARBOSA, R. S.; NEVES, A. M.; ALVES, T. L. **A produção agrícola no município de Areia-PB**. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Porto Alegre, RS. 2010. Anais, 10p.

BRASILEIRO, S. R. Um olhar geográfico sobre algumas práticas de desenvolvimento no Semi-Árido Nordeste. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 25, n. 3, set-dez 2008.

BRIGHENTI, I.; ALMEIDA, J.A. DE; HOFER, A. Mineralogia e Gênese de Argissolos das Serras do Tabuleiro/Itajaí, Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Vol.36, n.4, pp.1057-1072, 2012. ISSN 0100-0683.

BROOKES, P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. **Biol. Fert. Soils**, 19:269-279, 1995.

CAMARGO, L. A. et al. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. II- Correlação espacial entre mineralogia e agregados. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.2279-2288, 2009.

CARNEIRO, A. E. V.; NASCIMENTO FILHO, V. F. Análise quantitativa de amostras geológicas utilizando a técnica de fluorescência de raios X por dispersão de energia. **Scientia Agrícola**, v. 53, n. 1, Piracicaba, jan./abr. 1996.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos Físicos, Químicos e Biológicos de Solo de Cerrado Sob Diferentes Sistemas de Uso e Manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009.

CARVALHO, V. S.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; BRILHANTE, S. A. Caracterização de Espodossolos dos Estados da Paraíba e do Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37. p. 1454-1463, 2013.

CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z. M. de; PEREIRA, G. T.; Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1329-1339, 2007.

COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. Cério (CE) em ferricretes nodulares desenvolvidos em solos da formação Adamantina. **Scientia Agrícola**, v.57, p.329-336, 2000.

COELHO, M.R.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru. II - Mineralogia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:495- 507, 2003.

COSTA, J.B. **Caracterização e constituição do solo**. 2. ed. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1979. 527p.

COSTA, M. J.; ROSA JÚNIOR, E. J.; ROSA, Y. B. C. J.; DE SOUZA, L. C. F.; ROSA, C. B. J. Atributos químicos e físicos de um latossolo sendo influenciados pelo manejo do solo e efeito da gessagem. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, n. 5, p. 701-708, 2007.

DAM, R. F.; MEHDI, B. B.; BURGESS, M. S. E.; MADRAMOOTOO, C. A.; MEHUYS, G. R.; CALLUM, I. R. Soil bulk density and crop yield under eleven consecutive years of corn with different tillage and residue practices in a sandy loam soil in central Canada. **Soil and Tillage Research**, v. 84, n. 1, p. 41-53, 2005.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; ETEWART, B. A. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA. p. 3-21, 1994. (SSSA Special Publication, 35).

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. Ed. Ver. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. amp. Brasília: Embrapa Solos, 2013.

FABRIS, J. D. et al. Métodos físicos de análises em mineralogia do solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds.) **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2009. v.1. cap. 10. p. 611- 695.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. **Qualidade do solo e meio ambiente**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 35p. (Embrapa Arroz e Feijão, Documentos 197).

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 294 p.

FANNING, D. S.; FANNING, M. C. B. **Soil morphology, genesis and classification**. New York, John Wiley & Sons, 1989. 395p.

FARIA, A. F. G.; SANTOS, A. C.; SANTOS, T. M.; BATISTELLA FILHO, F. Influência nas propriedades químicas e físicas em topossequência na Bacia do Rio Araguaia, Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:517-524, 2010.

FEIDEN, A. **Conceitos e Princípios para o Manejo Ecológico do Solo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 2001. (Embrapa Agrobiologia, Documentos 140).

FERRARESI, T. M.; SILVA, W. T. L.; MARTIN NETO, L.; SILVEIRA, P. M.; MADARI, B. E. Espectroscopia de Infravermelho na Determinação da Textura do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:1769-1777, 2012.

FERREIRA, M. M. FERNANDES, B. CURI, N. Mineralogia da Fração Argila e Estrutura de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:507-514, 1999.

FERREIRA, M.M.; DIAS JR., M.S. **Física do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 117p.

FERREIRA, P. H. M. Erosão. In: **Princípios de manejo e de conservação do solo**. São Paulo: Nobel, 1979. p. 57-70.

FURIAN, S.; BARBIERO, L.; BOULET, R.; CURMI, P.; GRIMALDI, M.; GRIMALDI, C. Distribution and dynamics of gibbsite and kaolinite in an oxisol of Serra do Mar, southeastern Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v. 106, n. 1-2, p. 83-100, 2002.

GIAROLA, N. F. B.; LIMA, H. V.; ROMERO, R. E.; BRINATTI, A. M.; SILVA, A. P. Mineralogia e Cristalografia da Fração Argila de Horizontes Coesos de Solos nos Tabuleiros Costeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 33:33-40, 2009.

GOMES, J. B. V.; CURI, N.; MOTA, P. E. F.; KER, J. C.; MARQUES, J. J. G. S. M.; SCHULZE, D. G. Análise de componentes principais de atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos do bioma do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28 p.137-153, 2004.

GONÇALVES, D. **Caracterização mineralógica por difração de raios X e o método de Rietveld da fração argila de um Latossolo Vermelho distrófico em três manejos diferentes**. 2008, 176 f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa (PR), 2008.

GONÇALVES, D.; LEITE, C.W.; BRINATTI, M.A.; SAAB, C.S.; IAROSZ, C.K.; MASCARENHAS, P.Y.; CARNEIRO, B.I.P.; ROSA, A.J. Mineralogia de um latossolo vermelho distrófico submetido a diferentes manejos por 24 anos (1). **R. Bras. Ci. Solo**, 32:2647-2652, 2008.

GONDIM, T. M. S.; WANDERLEY, J. A. C.; SOUZA, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C.; SOUSA, J. S. Infiltração e velocidade de infiltração de água pelo método de infiltrômetro de anel em solo areno-argiloso. Pombal: **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.4, n.1, p. 64-73. Jan-Dez, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2º ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 2º ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. 182p.

JENKINS, R. et al. **Quantitative X-Ray Spectro-metry**. Marcel Dekker, Nova Iorque, 1981, 588 pag.

JENKINS, R. **X-ray fluorescence spectrometry**. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1999. 207 p.

KLEIN, V. A. Física do Solo. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008. 212p.

LACERDA, M. P. C.; ANDRADE, H.; QUÉMÉNEUR, J. J. G. Transformações mineralógicas ao longo de perfis de alteração pedogenética na região de lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:799-809, 2001.

LACERDA, N. B.; ZERO, V. M.; BARILLI, J.; MORAES, M. H.; BICUDO, S. J. Efeito de sistemas de manejo na estabilidade de agregados de um Nitossolo Vermelho. **Engenharia. Agrícola**. v.25, p.686-695, 2005.

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. Conservation and enhancement of soil quality. In: evaluation on for sustainable land management in the developing world, Bangkok, 1992. IBSRAM Proceedings... Bangkok, Int. Board for Soil Res. Management, 1991 p. 175-203.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 178p. 2002.

LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W.; DANIELS, R. B. Soil-landscape relationships in an area of the Occidental Plateau of São Paulo, Brazil: I. Geomorphic Madison surface and soil mapping units. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 41, n. 1, p. 104-109, 1977.

LIMA, J. G. da C.; SCHULZE, S. M. B. B.; RIBEIRO, M. R., BARRETO, S. de B., Mineralogia de um Argissolo Vermelho-Amarelo da zona úmida costeira do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p. 881-892, 2008.

LINDSAY, W. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley & Sons. 1979. 449 p.

LIRA, E. C. **Técnicas espectroscópicas de caracterização química e mineralógica de solos de uma microbacia hidrográfica sob diferentes sistemas de uso**. 2013. 93p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia. 2013.

MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. 1 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 174p.

MARTINS, M. V.; PASSOS, E.; CARVALHO, M.; ANDREOTTI, M.; MONTANARI, R. Correlação linear e espacial entre a produtividade do feijoeiro e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico de Selvíria, Estado de Mato Grosso do Sul. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 1, 147-154, 2009.

MARTINS, T. **Caracterização mineralógica e da matéria orgânica do solo por técnicas espectroscópicas e DRX**. 2009. 177f. Dissertação (Mestrado em Química Aplicada) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa. 2009.

MELO, V. F. et al. Mineralogia e formas de potássio e magnésio em diferentes classes de pesos e tamanhos da fração areia de solos do triângulo mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 219-231, 2004.

MENDES, I. C.; REIS JÚNIOR, F. B. dos.; PEREIRA NETO, J. V. **Uso de indicadores biológicos e bioquímicos para avaliar a qualidade de solos de cerrado sob plantio direto e convencional**. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 26.; Reunião Brasileira Sobre Micorrizas, 9.; Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Solo, 7.; Reunião Brasileira de Biologia do Solo, 4.; 2002. Rio de Janeiro. FERTBIO 2002: Agricultura: bases ecológicas para o desenvolvimento social e econômico sustentado. Rio de Janeiro: Anais, SBM. p.54. 2002.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. Cap. 2, p. 65-90.

MONTEIRO, Á.L.; **Caracterização mineralógica de solos representativos do estado da Paraíba**. 2010. 116f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.

MORI, P.; REEVES, S.; CORREIA, C.T.; HAUKKA, M. Development of a fused glass disc XRF facility and comparison with the pressed powder pellet technique at Instituto de Geociências, Sao Paulo University. **R. Bras. Geoci.** 29:441-446, 1999.

MOTA, J. C. A.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; AMARO FILHO, J. et al. Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi – RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 31, p. 445-454, 2007.

MULLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P. F. S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 36, n.11, p. 1409-1418, 2001.

PATACA, L. C. M., BORTOLETO, G. G., BUENO, M. I. M. S. **Determinação de arsênio em águas contaminadas usando fluorescências de raios X por energia dispersiva**. *Química Nova*, vol. 28, p. 579-582, 2005.

PEIXOTO, M. de. F. da. S. P. **Atributos físicos, químicos e biológicos como indicadores da qualidade do solo** (Apostila). Bahia, 2008. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas.

PEREIRA, A. C. **O uso do solo pela agricultura tradicional**. Blog do Planeta - Colégio Opção, 2010. Disponível em: <http://www.colegiotecnicoopcao.com.br/blogdoplaneta/topicos.php?Id=5&op=1&IDM=7>. Acessado em: 31/02/2015.

PRESS, F. et al. **Para entender a Terra**. Tradução de Rualdo Menegat. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2008.

RESENDE, M.; CURI, N.; LANI, J. L. Tropical soils: implications on sustainable development. In: *Science for sustainable development in Latin America and the Caribbean*. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1999.

SALTON, J.C.; HERNANI, L.C. Adoção. In: SALTON, J.C.; HERNANI, L.C.; FONTE, C.Z. **Sistema de plantio direto**. Brasília, Embrapa Agropecuária Oeste, 1998. p.21-35.

SAMPAIO, E. P. M. **Mineralogia do Solo**. Universidade de Évora, 2006. (Apostila). Disponível em: < <http://home.dgeo.uevora.pt/~ems/files/Anexo%20B-03.pdf>>. Acesso em: 27 de fev. 2013.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5ª ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005.

SERRAT, B. M.; LIMA, M. R.; GARCIAS, C. E.; FANTIN, E. R.; CARNIERI, I. M. R. S. A.; PINTO, L. S. **Conhecendo o solo**. Curitiba: UFPR, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, 2002. 27p.

SCHIAVO, J. A.; PEREIRA, M. G.; MIRANDA, L. P. M.; DIAS NETO, A. H.; FONTANA, A. Caracterização e Classificação de Solos Desenvolvidos de Arenitos da Formação Aquidauana – MS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 34:881-889, 2010.

SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E.; BREJDA, J. J. Soil resilienc: a fundamental component of soil quality. **Soil Science**, Baltimore, v.164, p. 224-234, 1999.

SILVA, E. A. **Caracterização e Gênese de Solos de Depressão de Topo de Tabuleiros Costeiros do Nordeste Brasileiro**. 2012. 99p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2012.

STÜRMER, S. L. K. **Infiltração de água em Neossolos Regolíticos do Rebordo do Planalto do Rio grande do Sul**. 2008. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2008.

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. 2 ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009. 623 p.

THIMÓTEO, C. M. S.; BENINNI, E. R. Y.; MURATA, I. N.; TAVARES FILHO, J. Alterações da porosidade e da densidade de um latossolo vermelho distrófico em dois sistemas de manejo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 23, p. 1299-1303, 2001.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade do solo**. São Paulo: Andrei, 2007. 718p.

VAZ JR, S. **Análise Química Instrumental e sua Aplicação em Controle de Qualidade de Biocombustíveis**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, Dez 2010. 16 p. (Embrapa Agroenergia. Circular Técnica, 03). Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/872917/1/CIT03.pdf>>. Acesso em: 26 de Mar. 2015.

WASTOWSKI, A. D.; ROSA, G. M. DA.; CHERUBIN, M. R.; E RIGON, J. P. G. Caracterização dos Níveis de Elementos Químicos em Solo, Submetido a Diferentes Sistemas de Uso e Manejo, Utilizando Espectrometria de Fluorescência de Raios-X por Energia Dispersiva (EDXRF). **Química Nova**, v. 33, No. 7, p. 1449-1452, 2010.

XAVIER, B. T. L. **Mineralogia e Teores Naturais de Metais Pesados em Solos da Bacia Sedimentar Amazônica**. 2013. 110f. Tese (Doutorado em Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2013.

ZANARDO, A.; MARQUES JÚNIOR, J. Conceitos Básicos em Mineralogia. In. MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Ed.) **Química e Mineralogia do Solo: Parte I - Conceitos Básicos**. Viçosa, MG: SBCS, 2009. cap 2. p. 73-150.

ZIMBACK, C. R. L. **Formação dos Solos**. (Apostila) Junho, 2003. FCA – UNESP. 27p.

APÊNDICE

Apêndice A: Nomenclatura adotada para as amostras da área de Agricultura.

Tabela 11: Nomenclatura adotada, coordenadas, posição no relevo e profundidade onde foram realizadas as coletas da área de Agricultura.

Agricultura	Latitude (°)	Longitude (°)	Posição	Profundidade (cm)	Agricultura	Latitude (°)	Longitude (°)	Posição	Profundidade (cm)
A1.1.S	-6,957457	-35,759335	Superior	0-10	A4.1.M	-6,957754	-35,759369	Médio	0-10
A1.2.S	-6,957457	-35,759335	Superior	10-20	A4.2.M	-6,957754	-35,759369	Médio	10-20
A1.3.S	-6,957457	-35,759335	Superior	20-40	A4.3.M	-6,957754	-35,759369	Médio	20-40
A2.1.S	-6,957552	-35,759377	Superior	0-10	A5.1.M	-6,957841	-35,759404	Médio	0-10
A2.2.S	-6,957552	-35,759377	Superior	10-20	A5.2.M	-6,957841	-35,759404	Médio	10-20
A2.3.S	-6,957552	-35,759377	Superior	20-40	A5.3.M	-6,957841	-35,759404	Médio	20-40
A3.1.S	-6,957637	-35,759416	Superior	0-10	A6.1.M	-6,957916	-35,759437	Médio	0-10
A3.2.S	-6,957637	-35,759416	Superior	10-20	A6.2.M	-6,957916	-35,759437	Médio	10-20
A3.3.S	-6,957637	-35,759416	Superior	20-40	A6.3.M	-6,957916	-35,759437	Médio	20-40
A4.1.S	-6,957722	-35,759446	Superior	0-10	A1.1.I	-6,957526	-35,759184	Inferior	0-10
A4.2.S	-6,957722	-35,759446	Superior	10-20	A1.2.I	-6,957526	-35,759184	Inferior	10-20
A4.3.S	-6,957722	-35,759446	Superior	20-40	A1.3.I	-6,957526	-35,759184	Inferior	20-40
A5.1.S	-6,957813	-35,759481	Superior	0-10	A2.1.I	-6,957612	-35,759218	Inferior	0-10
A5.2.S	-6,957813	-35,759481	Superior	10-20	A2.2.I	-6,957612	-35,759218	Inferior	10-20
A5.3.S	-6,957813	-35,759481	Superior	20-40	A2.3.I	-6,957612	-35,759218	Inferior	20-40
A6.1.S	-6,957892	-35,759514	Superior	0-10	A3.1.I	-6,957711	-35,759263	Inferior	0-10
A6.2.S	-6,957892	-35,759514	Superior	10-20	A3.2.I	-6,957711	-35,759263	Inferior	10-20
A6.3.S	-6,957892	-35,759514	Superior	20-40	A3.3.I	-6,957711	-35,759263	Inferior	20-40
A1.1.M	-6,957503	-35,759264	Médio	0-10	A4.1.I	-6,957786	-35,759319	Inferior	0-10
A1.2.M	-6,957503	-35,759264	Médio	10-20	A4.2.I	-6,957786	-35,759319	Inferior	10-20
A1.3.M	-6,957503	-35,759264	Médio	20-40	A4.3.I	-6,957786	-35,759319	Inferior	20-40
A2.1.M	-6,957587	-35,759297	Médio	0-10	A5.1.I	-6,957856	-35,759337	Inferior	0-10
A2.2.M	-6,957587	-35,759297	Médio	10-20	A5.2.I	-6,957856	-35,759337	Inferior	10-20
A2.3.M	-6,957587	-35,759297	Médio	20-40	A5.3.I	-6,957856	-35,759337	Inferior	20-40
A3.1.M	-6,957672	-35,759333	Médio	0-10	A6.1.I	-6,957939	-35,759374	Inferior	0-10
A3.2.M	-6,957672	-35,759333	Médio	10-20	A6.2.I	-6,957939	-35,759374	Inferior	10-20
A3.3.M	-6,957672	-35,759333	Médio	20-40	A6.3.I	-6,957939	-35,759374	Inferior	20-40

Apêndice B: Nomenclatura adotada para as amostras da área de Mata.

Tabela 12: Nomenclatura adotada, coordenadas, posição no relevo e profundidade onde foram realizadas as coletas da área de Mata

Mata	Latitude (°)	Longitude (°)	Posição	Profundidade (cm)	Mata	Latitude (°)	Longitude (°)	Posição	Profundidade (cm)
M1.1.S	-6,967707	-35,717223	Superior	0-10	M2.1.M	-6,967587	-35,717301	Médio	0-10
M1.2.S	-6,967707	-35,717223	Superior	10-20	M2.2.M	-6,967587	-35,717301	Médio	10-20
M1.3.S	-6,967707	-35,717223	Superior	20-40	M2.3.M	-6,967587	-35,717301	Médio	20-40
M2.1.S	-6,967619	-35,717164	Superior	0-10	M1.1.I	-6,967651	-35,717379	Inferior	0-10
M2.2.S	-6,967619	-35,717164	Superior	10-20	M1.2.I	-6,967651	-35,717379	Inferior	10-20
M2.3.S	-6,967619	-35,717164	Superior	20-40	M1.3.I	-6,967651	-35,717379	Inferior	20-40
M1.1.M	-6,967586	-35,717267	Médio	0-10	M2.1.I	-6,967699	-35,717256	Inferior	0-10
M1.2.M	-6,967586	-35,717267	Médio	10-20	M2.2.I	-6,967699	-35,717256	Inferior	10-20
M1.3.M	-6,967586	-35,717267	Médio	20-40	M2.3.I	-6,967699	-35,717256	Inferior	20-40

Apêndice C: Nomenclatura adotada para as amostras da área de Pastagem.

Tabela 13: Nomenclatura adotada, coordenadas, posição no relevo e profundidade onde foram realizadas as coletas da área de Pastagem

Pastagem	Latitude (°)	Longitude (°)	Posição	Profundidade (cm)	Pastagem	Latitude (°)	Longitude (°)	Posição	Profundidade (cm)
P1.1.S	-6,964530	-35,714461	Superior	0-10	P4.1.M	-6,964719	-35,714230	Médio	0-10
P1.2.S	-6,964530	-35,714461	Superior	10-20	P4.2.M	-6,964719	-35,714230	Médio	10-20
P1.3.S	-6,964530	-35,714461	Superior	20-40	P4.3.M	-6,964719	-35,714230	Médio	20-40
P2.1.S	-6,964563	-35,714376	Superior	0-10	P5.1.M	-6,964747	-35,714149	Médio	0-10
P2.2.S	-6,964563	-35,714376	Superior	10-20	P5.2.M	-6,964747	-35,714149	Médio	10-20
P2.3.S	-6,964563	-35,714376	Superior	20-40	P5.3.M	-6,964747	-35,714149	Médio	20-40
P3.1.S	-6,964592	-35,714295	Superior	0-10	P6.1.M	-6,964774	-35,714070	Médio	0-10
P3.2.S	-6,964592	-35,714295	Superior	10-20	P6.2.M	-6,964774	-35,714070	Médio	10-20
P3.3.S	-6,964592	-35,714295	Superior	20-40	P6.3.M	-6,964774	-35,714070	Médio	20-40
P4.1.S	-6,964630	-35,714210	Superior	0-10	P1.1.I	-6,964689	-35,714526	Inferior	0-10
P4.2.S	-6,964630	-35,714210	Superior	10-20	P1.2.I	-6,964689	-35,714526	Inferior	10-20
P4.3.S	-6,964630	-35,714210	Superior	20-40	P1.3.I	-6,964689	-35,714526	Inferior	20-40
P5.1.S	-6,964663	-35,714128	Superior	0-10	P2.1.I	-6,964703	-35,714435	Inferior	0-10
P5.2.S	-6,964663	-35,714128	Superior	10-20	P2.2.I	-6,964703	-35,714435	Inferior	10-20
P5.3.S	-6,964663	-35,714128	Superior	20-40	P2.3.I	-6,964703	-35,714435	Inferior	20-40
P6.1.S	-6,964698	-35,714042	Superior	0-10	P3.1.I	-6,964752	-35,714340	Inferior	0-10
P6.2.S	-6,964698	-35,714042	Superior	10-20	P3.2.I	-6,964752	-35,714340	Inferior	10-20
P6.3.S	-6,964698	-35,714042	Superior	20-40	P3.3.I	-6,964752	-35,714340	Inferior	20-40
P1.1.M	-6,964626	-35,714459	Médio	0-10	P4.1.I	-6,964792	-35,714260	Inferior	0-10
P1.2.M	-6,964626	-35,714459	Médio	10-20	P4.2.I	-6,964792	-35,714260	Inferior	10-20
P1.3.M	-6,964626	-35,714459	Médio	20-40	P4.3.I	-6,964792	-35,714260	Inferior	20-40
P2.1.M	-6,964658	-35,714391	Médio	0-10	P5.1.I	-6,964823	-35,714169	Inferior	0-10
P2.2.M	-6,964658	-35,714391	Médio	10-20	P5.2.I	-6,964823	-35,714169	Inferior	10-20
P2.3.M	-6,964658	-35,714391	Médio	20-40	P5.3.I	-6,964823	-35,714169	Inferior	20-40
P3.1.M	-6,964685	-35,714313	Médio	0-10	P6.1.I	-6,964856	-35,714099	Inferior	0-10
P3.2.M	-6,964685	-35,714313	Médio	10-20	P6.2.I	-6,964856	-35,714099	Inferior	10-20
P3.3.M	-6,964685	-35,714313	Médio	20-40	P6.3.I	-6,964856	-35,714099	Inferior	20-40